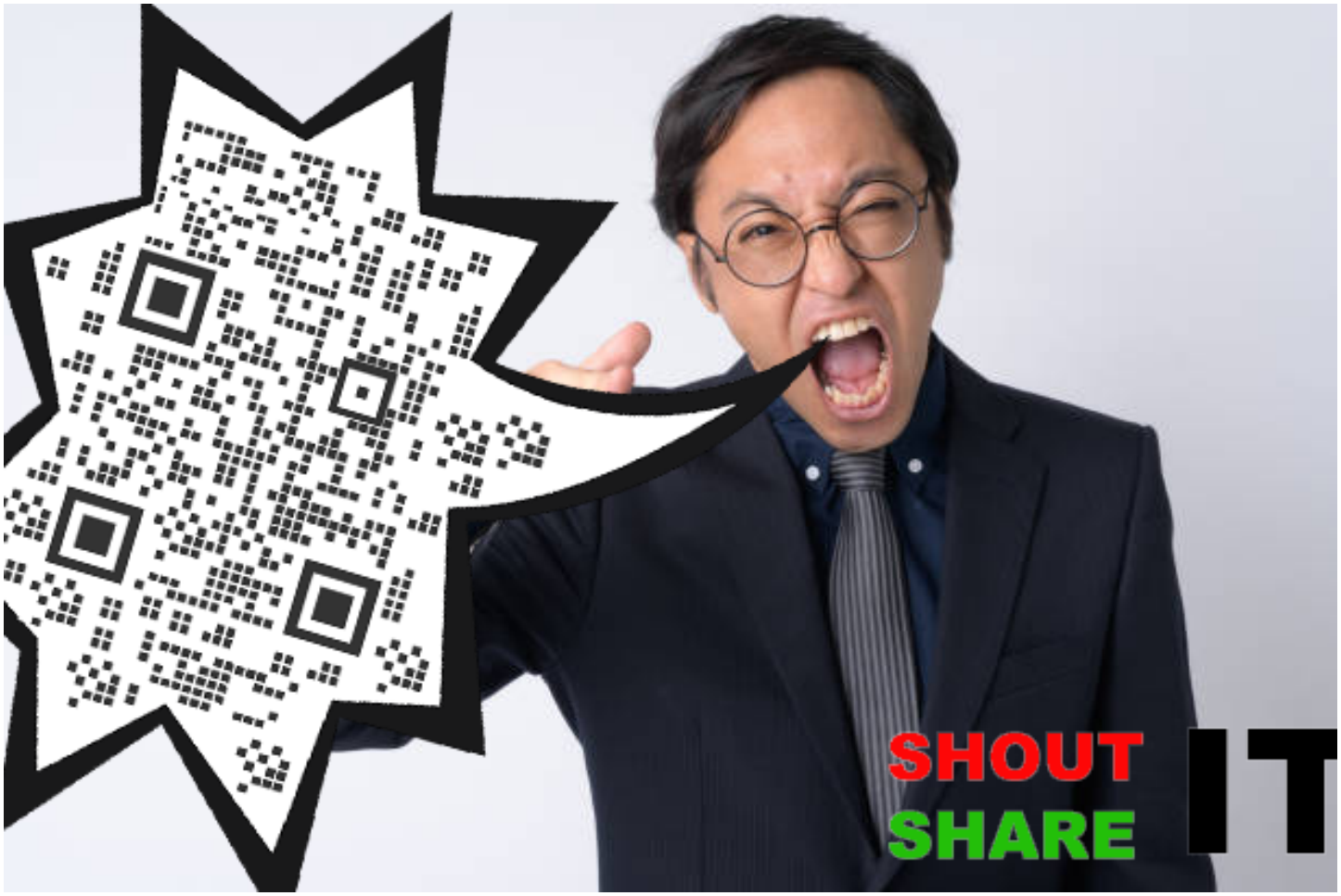
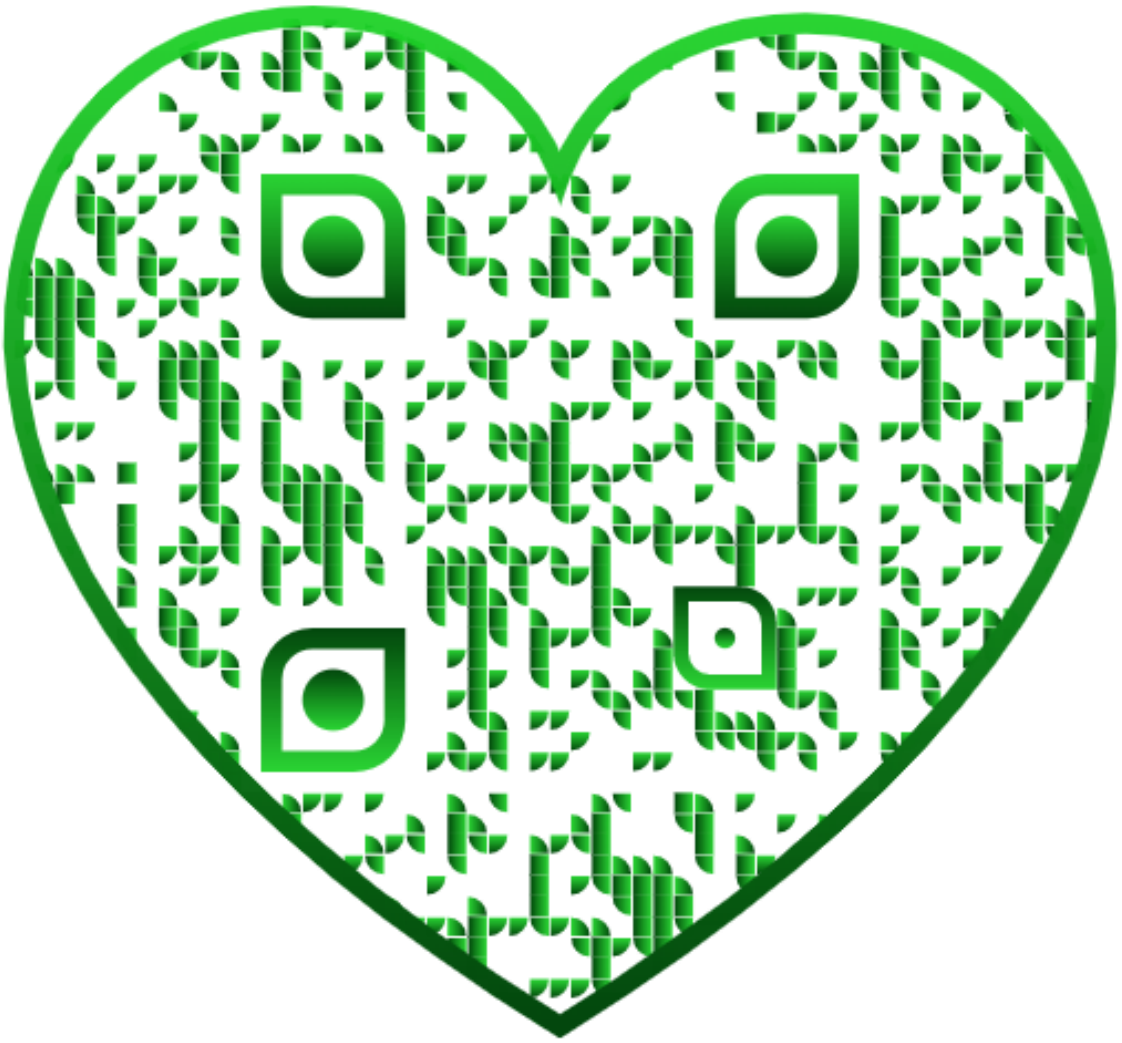
Thierry Gallauziaux et David Fedullo

LE GRAND LIVRE DE L'ISOLATION

EYROLLES


SHOUT
SHARE
IT



Par les mêmes auteurs

Collection « Le grand livre »

Le grand livre de l'électricité
N° G11535, 2005, 3e tirage, 676 pages.

Collection « Les cahiers du bricolage »

Les clés pour construire
N° G12241, 2008, 82 pages.

Guide pratique de la défonceuse
N° G11580, 2005, 54 pages.

Installer un tableau électrique
N° G11461, 2004, 2e édition, 4e tirage, 56 pages.

Poser un carrelage mural
N° G11141, 2002, 2e tirage, 56 pages.

Réparer la plomberie
N° G11142, 2002, 2e tirage, 56 pages.

Le guide des parquets et sols stratifiés
N° G11277, 2003, 56 pages.

Poser et entretenir parquets et sols stratifiés
N° G11278, 2003, 2e tirage, 56 pages.

Mémento de schémas électriques
N° G11498 & 11587, 2004, 4e tirage & 2005, 3e tirage, 56 pages.

Agencer et monter les cloisons
N° G11588, 2005, 3e tirage, 54 pages.

Les évolutions de la norme électrique (NF C 15-100)
N° G11516, 2004, 3e tirage, 56 pages.

Collection « Comme un pro ! »

Dépannages et rénovations électriques
N° G06816, 1999, 1re édition, 10e tirage, 208 pages.

La maçonnerie (à paraître)

La menuiserie
N° G06819, 2000, 1re édition, 8e tirage, 238 pages.

La plomberie
N° G06817, 1998, 1re édition, 12e tirage, 212 pages.

Le chauffage électrique et l'isolation thermique
N° G06814, 1997, 1re édition, 8e tirage, 224 pages.

L'installation électrique
N° G11431, 2004, 2e édition, 8e tirage, 326 pages.

Thierry Gallauziaux et David Fedullo

LE GRAND LIVRE DE L'ISOLATION

EYROLLES

Sommaire

POURQUOI ISOLER ?

La thermique dans l'habitat ... 14

Les performances thermiques des matériaux ... 15

Les échanges gazeux ... 21
La vapeur d'eau ... 21
L'étanchéité à l'air ... 29

Les déperditions thermiques ... 33

La conception bioclimatique ... 35
La compacité et la conception de la maison ... 35
L'orientation de la maison ... 37
Les vérandas ... 40

L'inertie thermique ... 42
Le principe de l'inertie thermique ... 42
L'amélioration de l'inertie thermique ... 49

La réglementation thermique ... 51

Les labels ... 57
Le label Performance ... 57
Le label Effinergie ... 60
Le label PassivHaus ... 61
Le label Minergie ... 63

Le diagnostic de performances énergétiques ... 64

L'acoustique dans les bâtiments ... 65

Les bruits aériens ... 70

Les bruits d'impact ... 72

Les bruits d'équipement ... 75

La réglementation acoustique ... 78

LES PRINCIPES ET LES MATÉRIAUX D'ISOLATION

Le principe de l'isolation thermique 80

Les ponts thermiques 83

La jonction entre plancher sur terre-plein et façade 89

La jonction entre plancher sur local non chauffé et façades 92

La jonction entre plancher intermédiaire et façades 94

La jonction entre plancher haut et toiture-terrasse 97

La jonction entre une toiture inclinée et les façades 97

Les jonctions avec les menuiseries 99

Les jonctions entre planchers avec balcons et façades 99

Les angles et les refends 99

Les autres jonctions avec les murs de refend 103

Les ponts thermiques intégrés ou ponctuels 103

La certification et les labels des isolants 105

La certification des performances 105

Les labels écologiques 110

L'énergie grise 112

Les caractéristiques environnementales 113

Le choix des isolants 114

Les isolants rapportés 114

Les isolants synthétiques 114

Le polystyrène expansé 114

Le polystyrène extrudé 116

Les polyuréthanes 118

Les isolants minéraux 120

La laine de verre 120

La laine de roche 124

Le verre cellulaire 125

La perlite 128

La vermiculite 129

L'argile expansée 130

Les isolants d'origine végétale 131

Le chanvre 131

La chènevotte 135

Le lin 136

Le kenaf 137

Les fibres de coco et le corkoco 139

Le liège 141

La laine de coton 144

La ouate de cellulose 146

Les isolants à base de bois 148

La paille de lavande 155

Les roseaux 156

Les isolants d'origine animale 157

La laine de mouton 157

La plume de canard 160

Le cas des isolants réflecteurs multicouches 163

Les isolants nouvelle génération 165

Les aérogels 166

Les panneaux isolants sous vide (PIV) 170

L'isolation répartie 174

Le béton cellulaire 174

Les blocs bimatières 182

Les blocs monomurs en pierre ponce 184

Les blocs monomurs en billes d'argile expansée 186

Les blocs monomurs en terre cuite 187

Les blocs de coffrage isolants 191

L'isolation par remplissage d'ossature 194
La construction à ossature bois 194
La plateforme ou ossature bois 194
Les poteaux poutres 196
Le remplissage des ossatures en bois 196
Le remplissage en torchis 198
Le remplissage en terre 200
Le remplissage en bottes de paille 202
Le remplissage en blocs de chanvre 204

La construction en matériaux naturels 205
Les rondins de bois empilés 205
Les madriers 206
Les parpaings en bois 208
La construction en terre crue 208
Le pisé 209
La bauge 212
Les briques crues ou adobes 213

Les menuiseries extérieures 214

Les performances des menuiseries 215
Les vitrages 217
Les menuiseries 222

Les certifications 227

Les solutions d'isolation et leurs performances 230

Les solutions d'isolation des parois verticales 231
L'isolation rapportée par l'intérieur 232
Les complexes de doublage 232
L'isolation avec ossature 235
L'isolation avec contre-cloison 237
Les performances thermiques de l'isolation par l'intérieur 237
L'isolation répartie 243
Les blocs de coffrage isolants 248
L'isolation des constructions à ossature bois 249
L'isolation par l'extérieur (ITE) 252
L'isolation par l'extérieur avec un enduit 253
Les bardages rapportés sur ossature secondaire 255
Le double mur 262
Les structures légères isolées de séparation des locaux non chauffés 264

L'isolation thermique desplanchers bas 265
Les planchers sur terre-plein 265
Les planchers bas sur vide sanitaire ou local non chauffé 268
Les planchers avec entrevous en polystyrène 268
L'isolation thermique des planchers par une chape flottante 272
L'isolation des planchers par le dessous 274

L'isolation des toitures inclinées 276

L'isolation des combles perdus 280

L'isolation des combles aménageables 285
L'isolation monocouche des combles aménageables 287
L'isolation en deux couches des combles aménageables 290
L'isolation des combles aménageables avec pare-vapeur hygrorégulant 292
L'isolation extérieure des combles aménageables (sarking) 294
L'isolation des combles avec des panneaux de toiture 296

L'isolation des toitures-terrasses 299

L'isolation acoustique 302

Les solutions acoustiques minces 303

L'isolation acoustique des cloisons de distribution 304

L'isolation acoustique des planchers 308
Les solutions d'isolation acoustique des planchers par le dessus 308
Les solutions pour planchers anciens déformés 315
La certification des sous-couches isolantes 317

Les performances acoustiques des solutions d'isolation thermique 320
Les parois verticales 321
Les combles 324
Les planchers 326

Les solutions thermo-acoustiques hautes performances 329

Les solutions pour les parois verticales 330

Les solutions pour planchers sur terre-plein 330

Les solutions pour planchers sur sous-sol 334

Les solutions pour planchers intermédiaires 336

Les solutions pour les toitures-terrasses 338

Les solutions pour les toitures inclinées 340

Les solutions pour les dalles de combles 342

Les solutions pour maisons à ossature bois 344

Les solutions avec des PIV 346

La ventilation 350

Les systèmes de ventilation 351

Le puits canadien 357

Les VMC double flux thermodynamiques 363

L'amélioration de l'inertie thermique 367

LES MISES EN ŒUVRE

Les parois verticales 372

L'isolation thermique par l'intérieur 372
Les complexes isolants 374
L'isolation derrière ossature métallique 395
Les finitions des plaques de plâtre 414
Les contre-cloisons maçonnées 421

L'isolation thermique extérieure (ITE) 425
L'isolation support d'enduit 426
L'ITE avec support d'enduit mince 430
L'ITE avec support d'enduit épais 439
Les détails constructifs communs à toutes les solutions d'ITE 440
L'enduit sur ossature bois 447
L'isolation sous bardage rapporté 455
Les doubles murs 474

L'isolation répartie 486
La mise en œuvre du béton cellulaire 486
La mise en œuvre des monomurs en terre cuite 499

Les blocs de coffrage isolants 508

Les cloisons 515

Les planchers 523

Les dalles sur terre-plein et les radiers 523

Les planchers bas isolants 532

Le traitement des ponts thermiques des planchers 538

La chape flottante 550

Les solutions de rénovation 557

L'isolation en sous-face 565
Les faux-plafonds 565
Les panneaux rapportés 577

Les toitures 581

Les combles 581
Les combles perdus 581
L'isolation sur plancher 582
L'isolation entre solives ou fermettes 585
L'isolation répandue ou soufflée 588
Les combles aménageables 592
Les ossatures métalliques 593
L'isolation monocouche sous chevrons 600
L'isolation en deux couches 603

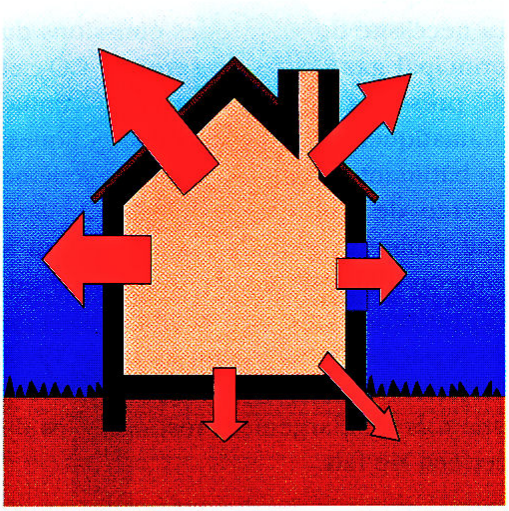
Le sarking 615

Les panneaux de toiture 628
La mise en œuvre des panneaux sandwich 636
La mise en œuvre des caissons chevronnés 643

Les matériaux à changement de phase 651

Les solutions phoniques minces 653

La réalisation d'un puits canadien 657



Pourquoi isoler ?

La question de l'isolation des bâtiments peut paraître évidente, pour de nombreuses raisons que nous pensons tous connaître plus ou moins. Chacun se représente aisément ce qu'est un logement isolé et pourquoi il est opportun de le faire. Cependant, isoler est une problématique relativement récente et parfois sujette à des idées reçues ou à des approximations. Le sujet ne peut pas être traité sans une vision globale des processus d'accumulation et d'échange de la chaleur entre l'habitat et son environnement, ce qui va au-delà de la simple opération qui consiste à coller un complexe isolant sur un mur.

Après la Seconde Guerre mondiale, le besoin de reconstruction a entraîné l'augmentation du nombre de logements, de la surface moyenne par habitant et du niveau de confort. Le développement économique rapide privilégiait les solutions bon marché. L'énergie était disponible en grande quantité à faible coût si bien que le principe d'isoler les logements était tout simplement ignoré. Ne correspondant à aucune réalité économique, la question ne se posait pas. L'énergie était perçue comme une ressource disponible pour toujours. Les considérations écologiques avaient également un sens tout autre qu'aujourd'hui et l'impact sur le climat était inconnu.
Le premier choc pétrolier de 1973 a été une révélation et une prise de conscience que le pétrole était une ressource limitée. Avec l'envolée des prix est apparue la nécessité de réaliser des économies en réduisant la consommation d'énergie. C'est ainsi que sont apparues la « chasse au gaspi » et la première réglementation thermique en France, en 1974. On

commença à isoler les combles, les murs et à promouvoir les doubles vitrages dans les constructions neuves. La réhabilitation du parc existant a également été encouragée. Au cours des trente années qui ont suivi, la performance thermique des bâtiments a ainsi progressé de 34 %. La consommation moyenne en énergie totale d'un logement est passée de près de 400 kWh/m²/an à moins de 250 kWh/m²/an.
Si ce bilan semble en apparence satisfaisant, il masque une réalité tout autre. Durant la même période, la consommation d'énergie finale dans le bâtiment a augmenté de 24 % en volume. La raison est due à l'augmentation de la surface moyenne et du nombre de logements et de bâtiments tertiaires et au développement du confort en termes d'équipement électroménager et de climatisation. Aujourd'hui encore, le bâtiment représente 46 % de la consommation d'énergie finale, loin devant les transports et l'industrie. Dans cette part de consommation, les maisons individuelles représentent à elles seules 42 %. 70 % de l'énergie consommée dans les bâtiments est destinée au chauffage et à la climatisation (figure 1). Le gisement d'économies est donc immense, notamment dans les logements construits avant 1974.

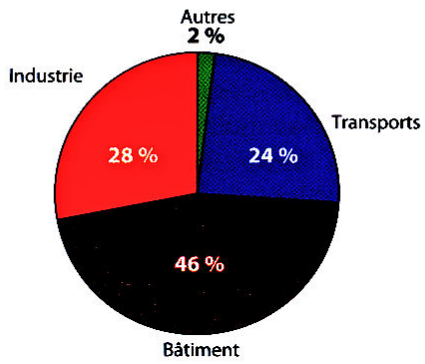
Outre la raréfaction et la fluctuation du prix des énergies fossiles, une autre problématique est apparue : l'environnement et le changement climatique. Contestée dans les années 1990, l'influence des activités humaines sur le climat est une réalité que plus personne ne nie. La communauté scientifique internationale a officiellement reconnu cette influence néfaste en 2007. Depuis le début des statistiques météorologiques, les dix années les plus chaudes ont été constatées après 1991. Les glaces polaires fondent à un rythme de plus en plus rapide et les organisations non gouvernementales déplorent l'augmentation des réfugiés climatiques.
La nécessité de réduire les émissions du principal gaz à effet de serre, le CO_2, et de préserver l'environnement accentue dramatiquement les enjeux énergétiques. Le bâtiment est, en France, la deuxième source de pollution par le CO_2, soit une émission globale correspondant à environ 100 millions de tonnes par an, ce qui représente une augmentation de 20 % par rapport aux émissions de 1990. Les constructions mal isolées sont encore une fois très largement responsables de cet état de fait.

Les turbulences sur les marchés de l'énergie ont des répercussions dans tous les secteurs et des solutions contradictoires ou fausses apparaissent. Le débat sur l'utilité des agrocarburants ou des cultures OGM en sont des exemples. La fabrication de combustibles à partir de produits issus de l'agriculture entraîne des effets en cascade sur l'alimentation mondiale et contribue à la déforestation. Par exemple, en Indonésie, la production de l'huile de palme favorise cette tendance et contribue à amplifier les effets sur le climat. La montée des prix réveille la spéculation et la recherche du profit maximal.

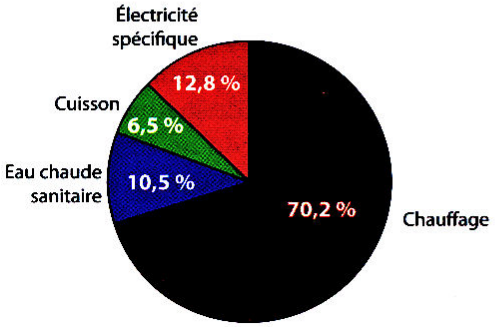
La déforestation s'accélère sur pratiquement tous les continents. Au Canada, l'exploitation des sables bitumineux pour en extraire le pétrole rase de vastes étendues boisées, provoque des effets catastrophiques sur l'environnement et sur le climat et dégage d'énormes quantités de gaz à effet de serre.

Consommation d'énergie dans la construction

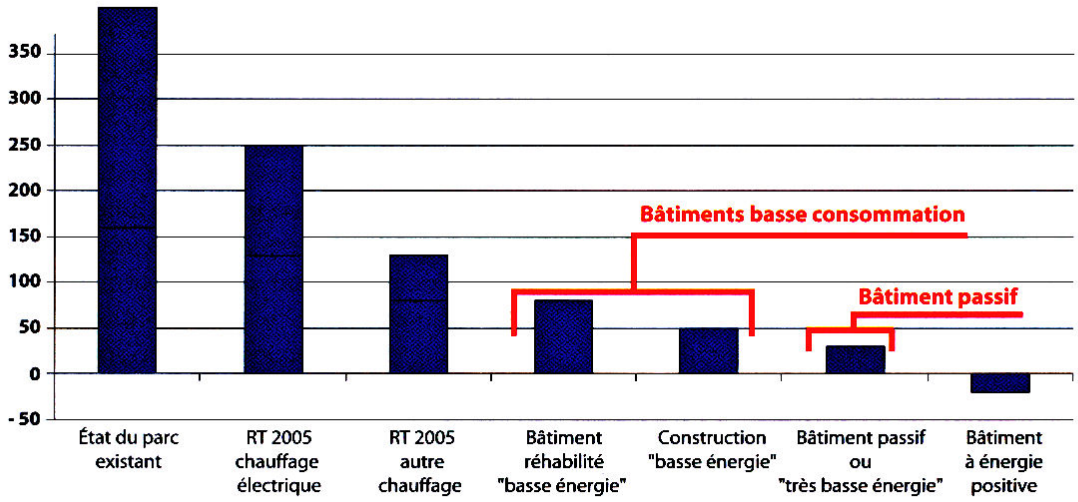
Consommation d'énergie finale en France



Consommation d'énergie dans l'habitat



Consommation en kWhep/m²an pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, la climatisation et la ventilation (consommation en kWhep/m²/an - ep : équivalent pétrole) (Source Effinergie)



Comparaison avec l'Allemagne (consommation en kWhep/m²/an)

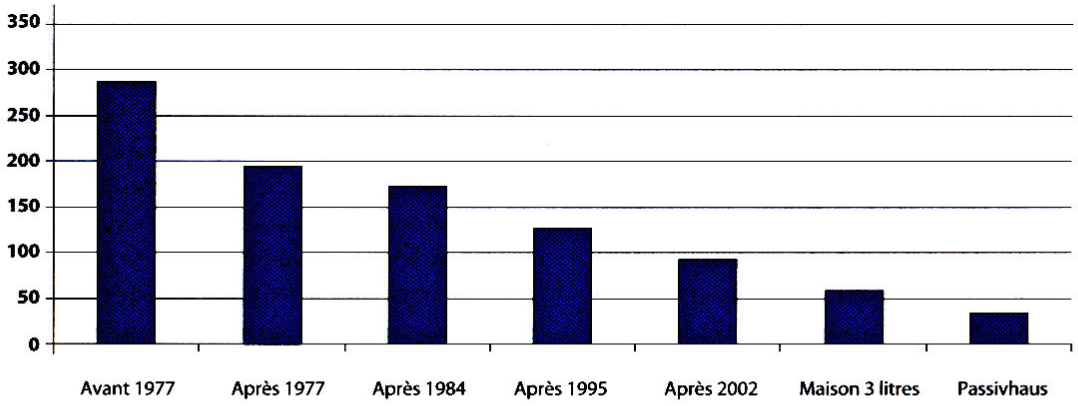


Figure 1 : La consommation d'énergie dans la construction

D'autres effets en chaîne sont à craindre selon les scientifiques, par exemple, si la température moyenne dans le Grand Nord atteint un niveau critique, le permafrost, la partie de terre perpétuellement gelée, pourrait fondre et libérer des quantités gigantesques de méthane dans l'atmosphère.
Le groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat des Nations Unies estime qu'une plus grande efficacité énergétique dans les bâtiments et l'industrie pourrait réduire la pollution en CO_2 de plus d'un milliard de tonnes par an. Les perspectives définies par l'Union Européenne visent à diminuer de 20 % les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 par rapport à 1990. À la même échéance, la consommation d'énergie devra avoir baissé de 20 % et la part des énergies renouvelables devra atteindre également 20 % de l'énergie finale consommée. Les pays les plus industrialisés s'en tiennent aux promesses, et proposent de réduire de moitié leurs émissions à l'horizon 2050 tandis que les pays émergents rechignent à s'engager.

Le constat est connu, les volontés et les solutions existent. En France, les bâtiments publics et tertaires doivent être construits pour répondre aux normes basse consommation (50 kWh/m²/an). La réglementation thermique vise, à l'horizon 2020, à atteindre le niveau de construction passif ou à énergie positive pour les logements. Pourtant les mesures sont prises à des rythmes qui varient d'un état à un autre. En effet, les intérêts et les lobbys nucléaires, pétroliers, industriels et écologiques divergent. Les discours, y compris marketing, tendent globalement à prôner les économies d'énergie, en contradiction parfois avec la réalité.
Les mesures concernant l'existant dans le secteur privé, le plus gros réservoir d'économies, sont encore inexistantes, sauf en cas de rénovation lourde.
Une isolation réellement efficace des logements est possible, pour atteindre une consommation quasi nulle d'énergie de chauffage. L'Europe du Nord est pionnière dans ce domaine et nous propose de nombreuses solutions adaptables sur le marché français.

Par conséquent, l'enjeu dépend de la volonté politique, des investissements en recherche et développement des industriels, de la formation des professionnels et de l'information objective du public.
L'isolation est également un moyen d'augmenter le confort de son habitation en hiver comme en été. Une maison bien isolée nécessite généralement moins d'entretien (système de chauffage, meilleure aération évitant les condensations) et améliore les performances acoustiques.
Les solutions acoustiques sont souvent combinées ou communes aux solutions thermiques, c'est pourquoi elles seront également abordées dans cet ouvrage.

La thermique dans l'habitat

Une habitation est un ensemble composé de divers matériaux en contact avec un environnement plus ou moins froid ou chaud en fonction de la saison, de l'heure ou des conditions météorologiques. Les transferts de chaleur et les échanges gazeux se produisent en permanence. Si l'environnement des habitations était constant et tempéré, la température intérieure pourrait être égale à la température

extérieure. Comme tel n'est pas le cas, et pour satisfaire le confort des habitants, il convient de réguler les échanges thermiques, en tentant de rétablir des conditions idéales d'habitabilité. Pour ce faire, il est nécessaire de dépenser de l'énergie ou de contrôler les flux, notamment grâce à l'isolation. En plus de l'isolation, d'autres paramètres sont à considérer dans un projet de construction. Nous allons les aborder d'un point de vue plus global, celui de la thermique de l'habitat, afin de mieux comprendre les mécanismes et les règles applicables pour parvenir à un objectif d'efficacité énergétique.

Les performances thermiques des matériaux

Avant de traiter de l'isolation, des produits et des procédés de mise en œuvre, il est important de s'attarder sur quelques notions physiques concernant la thermique.
Dans un bâtiment comme dans tout corps solide, la chaleur se propage de trois façons différentes : par conduction, par convection ou par rayonnement (figure 2). Cela a des incidences directes sur la façon dont il faut concevoir un bâtiment et avec quels matériaux.

La **conduction** est la propagation de la chaleur à travers un ou plusieurs éléments en contact direct. Le sens du flux thermique va toujours de l'élément le plus chaud vers l'élément le plus froid. La quantité de chaleur qui se propage dans un corps, dans un temps donné, est proportionnelle à la conductivité thermique du matériau et à la différence de température entre les deux faces. S'il n'y a pas de différence de température, il n'y a pas de flux. En hiver, par exemple, dans un mur, le flux de chaleur va pénétrer dans la paroi à partir de l'intérieur, traverser les différentes couches de matériaux, à différentes vitesses selon leur nature, et se propager à l'extérieur. Moins les matériaux sont conducteurs, plus la progression est lente. C'est l'effet recherché en hiver.

La **convection** est le transfert de la chaleur d'un corps solide vers un corps gazeux et inversement. La quantité de chaleur transmise dépend de la différence de température entre les éléments, de la vitesse de l'air et de la surface de contact. Par exemple, une paroi exposée à un vent froid et puissant se refroidira très rapidement.

Le **rayonnement** est le transfert de chaleur à travers un gaz ou le vide par rayonnement infrarouge.

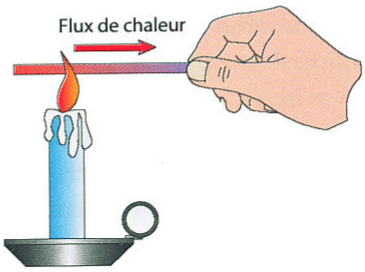
Dans un bâtiment, les modes de transmission se combinent. La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi s'effectue en partie par rayonnement et en partie par convection. À l'intérieur de la paroi, la chaleur progresse par conduction.

Chaque matériau possède une **conductivité thermique** propre. Pour classer les matériaux selon ce critère, on utilise le coefficient lambda (λ). Il s'exprime en watts par mètre kelvin (W/m.K ou parfois en W/m.°C) et représente la quantité de chaleur traversant un mètre carré de matériau d'une épaisseur d'un mètre, soit un mètre cube, avec une différence de température d'un degré entre les deux faces, dans un temps donné. C'est une caractéristique constante et propre à chaque matériau. En notant le score obtenu par un mètre cube de chacun des

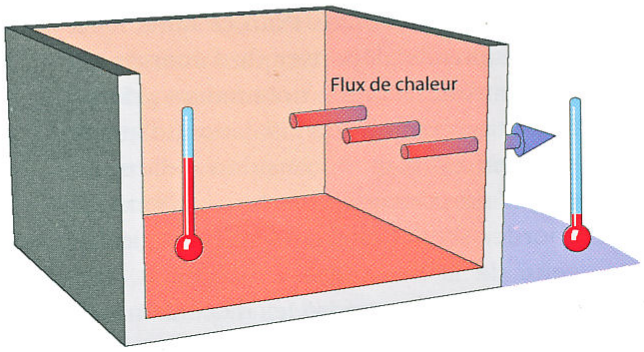
Les transferts de chaleur

La conduction

Principe



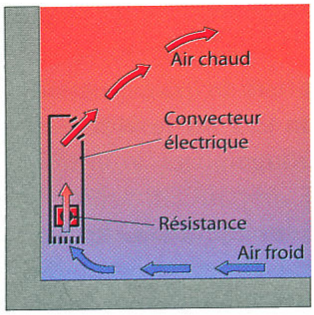
Au niveau d'une paroi



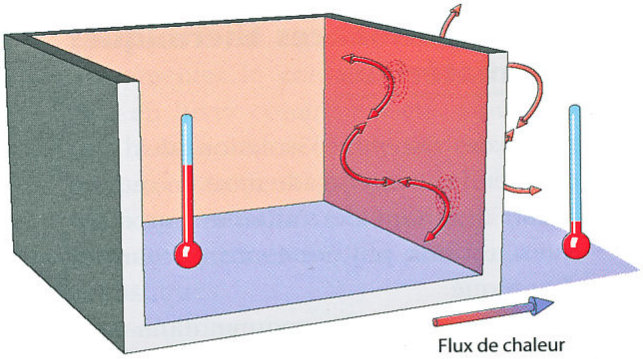
Flux de chaleur à travers une paroi d'un local chauffé vers l'extérieur

La convection

Principe



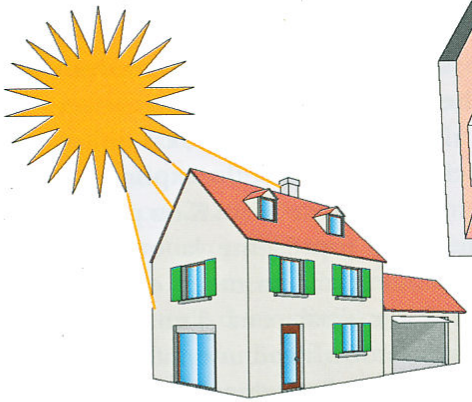
Au niveau d'une paroi



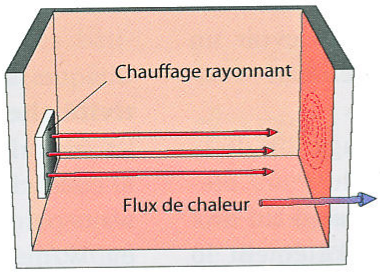
Échange thermique au niveau d'une paroi de température différente de celle de la pièce

Le rayonnement

Principe



Au niveau d'une paroi



Au niveau d'une habitation

Apports solaires en hiver, surchauffe en été, inertie thermique.

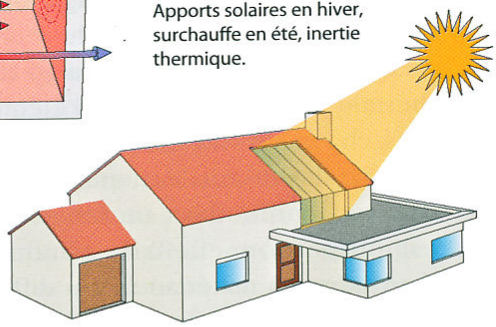


Figure 2 : Les modes de transfert de la chaleur

matériaux du bâtiment, on est sûr d'avoir une base de comparaison équitable permettant un classement objectif. C'est le rôle du coefficient lambda.
Plus la valeur de ce coefficient est faible, plus le matériau est isolant. Un matériau est considéré comme isolant si son coefficient lambda est inférieur à 0,06 W/m.K.
La figure 3 indique la conductivité thermique de différents matériaux de construction.
Il est intéressant de noter que la conductivité de l'air est de 0,02 W/m.K et que celle de l'eau est de 0,56 W/m.K. Par conséquent, un même matériau présentera des valeurs totalement différentes selon qu'il est sec ou humide. C'est pourquoi, avant d'isoler un mur humide, il convient de l'assécher ou de stopper la source d'humidité. De même, un isolant hydrophile en contact avec une fuite ou une infiltration perdra la majeure partie de sa capacité d'isolation. Pour les calculs thermiques sont retenues les valeurs utiles de conductivité thermique qui tiennent compte de l'influence de l'humidité. Cette valeur apparaît sur les étiquettes des produits isolants et doit faire l'objet d'une certification.
Pour tous les isolants, ce coefficient doit être indiqué par son fabricant et le sera dans la suite de cet ouvrage pour chaque isolant présenté. Rappelez-vous, plus le coefficient λ d'un matériau est petit, plus grand est son pouvoir isolant.
Grâce à ce coefficient, on peut calculer d'autres caractéristiques, comme la résistance thermique d'une paroi homogène d'épaisseur donnée.

La **résistance thermique** d'un matériau est sa capacité à freiner le flux de chaleur qui le traverse. Pour les matériaux homogènes, la résistance thermique est égale au rapport de l'épaisseur du matériau en mètres (e) par sa conductivité thermique λ (R = e/λ). L'intérêt est que la valeur obtenue dépend de l'épaisseur

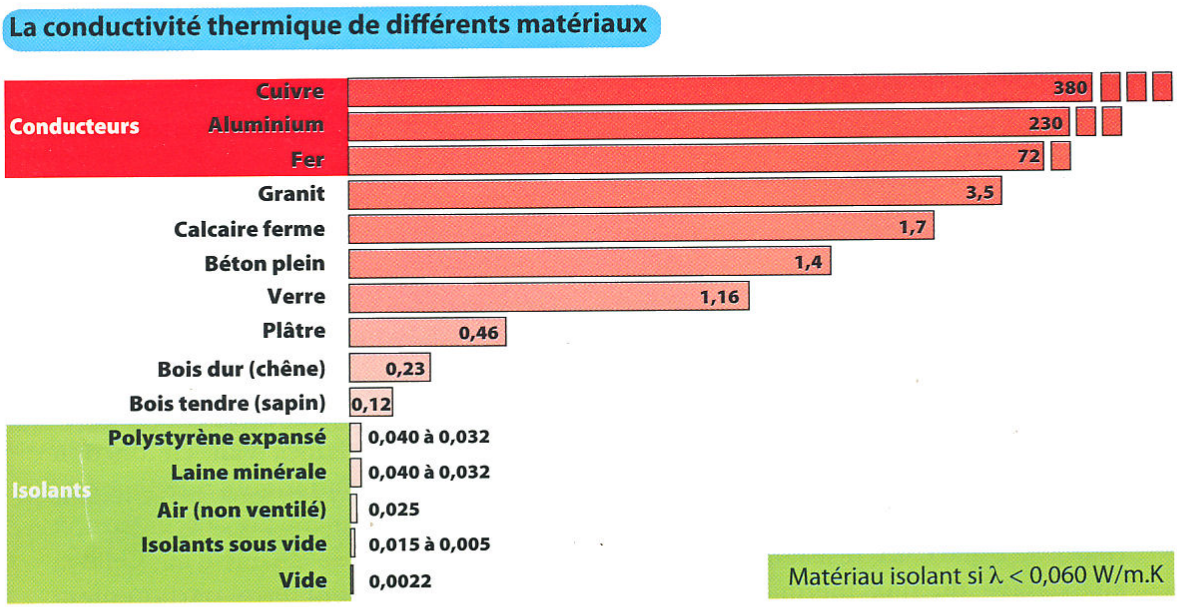


Figure 3 : La conductivité thermique de divers matériaux

du matériau, alors que le coefficient λ est toujours exprimé pour une épaisseur fixe d'un mètre. La résistance R s'exprime en m^2.K/W. Plus la résistance thermique d'un matériau est élevée, plus le flux de chaleur est diminué. La valeur R doit apparaître sur l'étiquette produit du matériau et être certifiée.

Par exemple, le polystyrène expansé possède un λ de 0,032 W/m.K. Un bloc de polystyrène de 16 cm d'épaisseur a donc un pouvoir isolant ou une résistance thermique de :

R = 0,16 m / 0,032 = 5 m^2.K/W

La valeur R est utile pour connaître l'épaisseur d'isolant souhaitée ou pour connaître l'épaisseur nécessaire pour obtenir une même isolation avec différents matériaux. Par exemple, pour obtenir une valeur R = 5 avec du granit, dont le coefficient λ est de 3,5 W/m.K, il faudrait :

e = λ x R

e = 3,5 x 5 = 17,5

La valeur e étant exprimée en mètres, il faut par conséquent 17,5 m de granit pour obtenir une isolation équivalente à 16 cm de polystyrène !

La résistance exprimée par R ne permet cependant pas de connaître la résistance d'une paroi. En effet, nous avons vu que les échanges thermiques ne sont pas les mêmes en surface qu'à l'intérieur d'un matériau. C'est pourquoi, pour déterminer la résistance réelle d'une paroi, il faut également prendre en compte sa **résistance thermique superficielle**. Celle-ci est due au barrage rencontré par le flux thermique pour passer de la convection (air) à la conduction (paroi opaque). La résistance opposée au passage du flux thermique de l'air ambiant intérieur à la paroi est notée R_{si} (résistance superficielle intérieure). La résistance de la paroi vers l'air extérieur est notée R_{se} (résistance superficielle extérieure). La résistance superficielle s'exprime, comme R, en m^2.K/W et varie en fonction du sens du flux thermique (ascendant, descendant ou horizontal). La figure 4, qui récapitule les différents critères de performances thermiques des matériaux, présente également les valeurs de résistance superficielle définies par la réglementation thermique.

Grâce à toutes ces valeurs, il est possible de calculer la résistance thermique totale d'une paroi composée de plusieurs matériaux, comme c'est souvent le cas dans un bâtiment. Il suffit d'additionner les résistances de chacun des matériaux constituant la paroi et les résistances thermiques superficielles. Par exemple, la résistance totale d'un mur en béton de 14 cm d'épaisseur avec un isolant en laine minérale de 10 cm plus plaque de plâtre est la suivante (en partant de l'intérieur) :

R_{totale} = R_{si} + R plâtre + R isolant + R béton + R_{se}

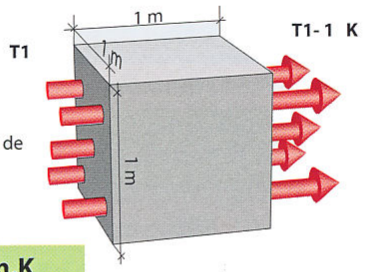
R_{totale} = 0,13 + 0,021 + 2,5 + 0,082 + 0,04 = 2,773

La résistance R totale de la paroi est de 2,77 m^2.K/W.

Parfois, une paroi comporte des lames d'air non ventilées. Celles-ci ont une influence directe sur la résistance totale. Dans ce cas, il est normal et même nécessaire de les prendre en compte dans le calcul de la résistance totale. Dans le tableau de la figure 5, sont indiquées les valeurs de R des lames d'air, en fonction du sens du flux thermique, qui peut être horizontal, ascendant ou descendant et selon l'épaisseur de la lame d'air. Celle-ci doit naturellement être parfaitement étanche. Tout mouvement ou courant d'air détériorerait considérablement les

Les performances thermiques des matériaux

Le coefficient de conductivité thermique λ



Le coefficient de conductivité thermique représente le flux de chaleur par mètre carré traversant 1 m de matériau homogène, pour une différence de température de 1 degré entre les deux faces.
Les matériaux isolants sont caractérisés par une conductivité thermique faible.
Ce coefficient n'est jamais égal à 0, il y a toujours un tansfert de chaleur.

Coefficient de conductivité thermique : λ (lambda) - exprimé en **W/m.K**
(watt / mètre / degré Kelvin)

Plus λ est **faible**, plus le matériau est **isolant**.

La résistance thermique R

Elle caractérise la capacité d'une paroi à s'opposer au passage de chaleur.
Pour les matériaux homogènes, elle est égale au rapport de l'épaisseur du matériau en mètres par sa conductivité thermique.

Résistance thermique : R - exprimé en **m².K/W**

Plus **R** est **important**, plus la paroi est **isolante**.

On peut augmenter **R** en augmentant l'épaisseur du matériau.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$ (e : épaisseur en m ; λ : en W/m.K)

La résistance thermique superficielle R_S

Résistances superficielles (en m².K/W)

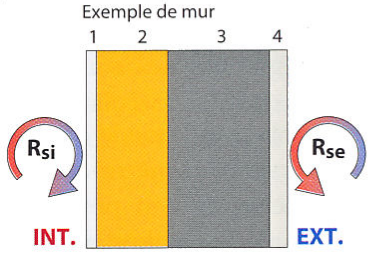
Sens du flux	Paroi donnant sur l'extérieur			Paroi donnant sur un local non chauffé		
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Horizontal	0,13	0,04	0,17	0,13	0,13	0,26
Ascendant	0,10	0,04	0,14	0,10	0,10	0,20
Descendant	0,17	0,04	0,21	0,17	0,17	0,34

La résistance thermique superficielle R_S représente la résistance au passage de chaleur de l'air. Il existe deux types de résistances superficielles : de l'air intérieur au matériau de construction R_{si} et de l'élément de construction à l'air extérieur R_{se}. Les valeurs de ces résistances superficielles sont indiquées dans le tableau ci-contre.

La résistance thermique d'une paroi hétérogène

La résistance thermique de la paroi R_{totale} est égale à la somme des résistances thermiques de chaque composant et des résistances superficielles.

$$R_{totale} = R_{si} + R1 + R2 + R3 + R4 + R_{se}$$



1 : plaque de plâtre
2 : laine minérale
3 : mur en béton
4 : enduit extérieur

Le coefficient de transmission surfacique U

Le coefficient de transmission surfacique est la quantité de chaleur qui traverse 1 m² de paroi pour une différence de 1 degré entre les ambiances. C'est cette valeur utilisée internationalement que nous utiliserons.

Coefficient de transmission surfacique : U - exprimé en **W/m².K**

Plus **U** est **faible**, plus la paroi est **performante**.

U_p = U paroi

$$U_p = \frac{1}{R_{totale}}$$

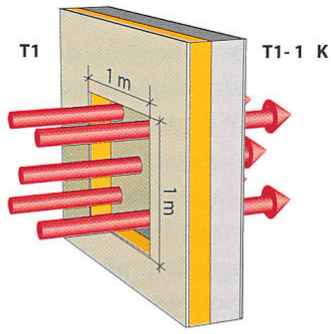


Figure 4 : Les performances thermiques des matériaux

Résistance thermique des lames d'air non ventilées (en m².K/W)

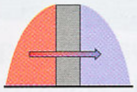
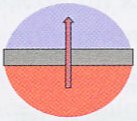
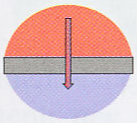
Sens du flux de chaleur	Épaisseur de la lame d'air en mm							
	5	7	10	15	25	50	100	300
 Horizontal	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18
 Ascendant	0,11	0,13	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
 Descendant	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,23

Figure 5 : La résistance thermique des lames d'air non ventilées

valeurs indiquées dans ce tableau et fausserait le résultat final. Par exemple, dans une paroi verticale, une lame d'air immobile de 7 cm offre une résistance thermique de 0,15 m².K/W, ce qui est un complément important pour la performance globale de la paroi.

Le coefficient lambda indique la quantité de chaleur traversant un mètre cube de matériau homogène, ce qui permet de classer, par exemple, les matériaux entre eux. Grâce à ce coefficient, il est également possible de calculer la résistance R totale d'une paroi en fonction de son épaisseur, ou inversement de déterminer l'épaisseur de la paroi désirée en fonction de la résistance à atteindre.
Il serait intéressant de connaître le coefficient lambda des parois pour pouvoir effectuer un classement, notamment, selon les principes constructifs. Un tel classement permettrait d'avoir des données chiffrées pour faire son choix, par exemple, entre des constructions en parpaings, en béton, en briques ou en béton cellulaire. Cependant, toutes les parois ne sont pas homogènes et ne font pas un mètre d'épaisseur, c'est même extrêmement rare. Or, nous savons que le coefficient lambda qui permet de classer les matériaux entre eux, exige de telles conditions pour être calculé. Le lambda ne peut pas être donné pour un mur, puisqu'en pratique, celui-ci est toujours constitué de divers matériaux de différentes épaisseurs.
C'est pourquoi on a recours à un troisième critère pour définir les performances thermiques dans le bâtiment. C'est un coefficient qui permet d'évaluer la quantité de chaleur traversant une paroi hétérogène, à la manière du coefficient lambda, mais sans ses contraintes. Il s'agit du **coefficient de transmission surfacique U**. Il s'exprime en W/m².K et

représente la quantité de chaleur traversant un mètre carré de paroi pour une différence de température d'un degré entre les deux faces. U est un coefficient égal au rapport de 1 sur la résistance totale de la paroi ($U = 1/R_{totale}$). Plus U est faible, moins il y a de déperditions. U est une valeur utilisée internationalement (anciennement appelée K dans certains calculs thermiques).

Par exemple, pour un mur en béton de 14 cm d'épaisseur, la résistance R_{totale} est de 0,25 m².K/W. U est égal à 1/0,25 = 4 W/m².K. Si on considère une différence de température de 10 °C entre les deux faces d'un mur en béton d'une surface de 50 m², les déperditions seront de :

4 W/m².K x 50 m² x 10 K = 2000 W

En ne tenant pas compte des résistances superficielles, la valeur U d'une hypothétique paroi homogène d'un mètre d'épaisseur correspondrait à la valeur du coefficient lambda du matériau de cette paroi.

Le coefficient U est utilisé également pour caractériser les performances des parois vitrées. Dans ce cas, il sera noté U_w (pour *window*, fenêtre en anglais).

En conclusion, il est utile de retenir que le coefficient lambda (λ) est une valeur qui caractérise des matériaux homogènes. On l'utilise notamment pour indiquer les performances des isolants. Plus il est petit, meilleure est le pouvoir isolant. Par exemple, la laine de verre présente un lambda de 0,035 W/m.K environ.

La résistance R indique la capacité à freiner la chaleur d'un ensemble de matériaux différents, comme dans le cas d'une paroi, en additionnant la résistance de chaque couche de matériau. Plus R est grand, meilleure est l'isolation. Par exemple, un mur composé d'un enduit extérieur de 1,5 cm d'épaisseur, de parpaings creux de 20 cm, d'un isolant de 8 cm de laine de verre plus 1 cm de plaque de plâtre, offre une résistance totale R = 2,95 m².K/W.

Le coefficient U est une valeur qui peut s'appliquer à des matériaux hétérogènes, puisqu'il est calculé à partir de R. Il permet de classer non plus des matériaux seuls, mais un ensemble de matériaux, comme une paroi. Plus il est petit, meilleure est l'isolation. Par exemple, le même mur en parpaings plus isolant de 8 cm de laine de verre plus 1 cm de plaque de plâtre, présente un coefficient U = 0,34 W/m².K.

Les échanges gazeux

Comme pour les flux thermiques, des échanges gazeux s'opèrent entre l'intérieur et l'extérieur d'une habitation. Certains effets sont recherchés, d'autres sont à proscrire au risque d'augmenter la pollution intérieure, d'engendrer des condensations et tous les désagréments qui en découlent (moisissures, insalubrité). Pour qu'une isolation soit efficace et, par conséquent, permette une faible consommation d'énergie, il faut également maîtriser les échanges d'air entre l'intérieur et l'extérieur.

La vapeur d'eau

Nous avons vu qu'un matériau hydrophile mouillé perdait en grande partie sa capacité d'isolation. L'eau étant conductrice thermiquement, l'humidité est un paramètre important à prendre en compte.

L'eau extérieure (pluie, neige, ruissellement) doit être totalement arrêtée par l'enveloppe du bâtiment, c'est-à-dire la façade, les menuiseries et le toit. En

hiver, l'air intérieur est plus chaud et humide qu'à l'extérieur, ce qui entraîne un flux gazeux de vapeur qui tend à s'échapper par les parois, vers l'extérieur. La vapeur d'eau transite majoritairement par convection, c'est-à-dire avec les flux d'air. Elle transite aussi par diffusion à travers les parois. En été, la migration est inversée, de l'extérieur vers l'intérieur de l'habitation. Si la vapeur d'eau entre en contact avec un élément froid, il se produit une condensation, qui, au fil du temps, provoque des moisissures. Ce phénomène se produit dans une habitation non isolée et mal ventilée et sur les menuiseries classiques non isolantes. Le problème peut également se produire dans les habitations mal isolées, avec des ponts thermiques (voir page 83) ou avec une mauvaise étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau.

La figure 6 présente le diagramme de Mollier qui permet de calculer le point de condensation selon la température et le taux d'hygrométrie relative. Pour ce faire, notez la température intérieure et le taux d'hygrométrie ambiant. Placez un point à l'intersection de la courbe d'humidité relative et de la température. Projetez horizontalement ce point jusqu'à la courbe de saturation. La température du point de rosée est lisible à l'intersection avec l'abscisse en bas du diagramme.
Dans une pièce mal ventilée, le taux d'humidité peut rapidement atteindre des niveaux élevés et provoquer de la condensation sur les parois, même s'il ne semble pas faire froid à l'extérieur.

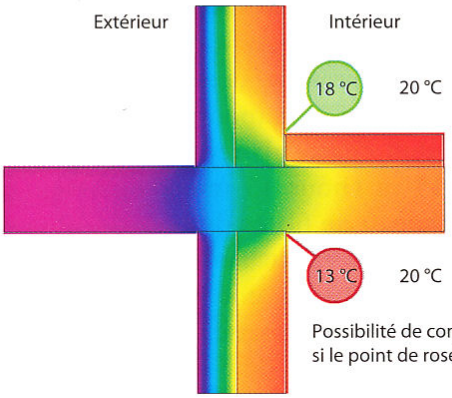
Il est indispensable d'évacuer l'excédent d'humidité produit dans l'habitation. L'excès doit être ponctuel et aisément évacué par un système de ventilation performant. Une ventilation légère mais constante est préférable à une évacuation puissante mais de courte durée.
La condensation est aisément repérable en surface. Malheureusement, elle peut aussi se produire à l'intérieur des parois et provoquer des dégradations. En effet, en fonction de la perméabilité des matériaux et de la différence de pression de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur, une plus ou moins grande quantité d'eau passe à travers les parois. Si elle reste à l'état gazeux, cela ne pose pas de problème. Si elle rencontre une zone froide, elle passe à l'état liquide, c'est la condensation interne.
La solution la plus efficace est de faciliter le transfert naturel de la vapeur d'eau. Les couches successives de matériaux constituant la paroi doivent être de plus en plus perméables à la vapeur d'eau, de l'intérieur vers l'extérieur. C'est généralement le cas avec une isolation thermique par l'extérieur ou dans une construction à isolation répartie. Dans ces cas, la paroi est dite ouverte à la diffusion de vapeur d'eau ou perspirante.
Cependant, cela n'exclut pas le recours à un système de ventilation performant et permanent pour éliminer les surplus ponctuels de vapeur d'eau.
Plusieurs valeurs permettent de définir le comportement des matériaux au transfert de vapeur d'eau et de quantifier les flux entre deux ambiances : la perméabilité, la perméance et la résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

La **perméabilité** à la vapeur d'eau « ϖ » s'exprime en g/m.h.mm Hg. Elle représente la quantité d'humidité traversant un mètre d'épaisseur de matériau par heure pour une différence de pression d'un millimètre de mercure entre les deux faces. Plus cette valeur est faible, moins le matériau laisse transiter la

Condensation à la surface d'une paroi

Exemple d'un balcon avec isolation par l'extérieur

Le pont thermique n'est pas traité dans la pièce inférieure. La température de surface au point le plus défavorable atteint 13 °C.



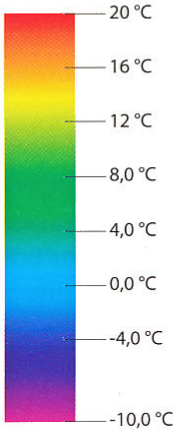
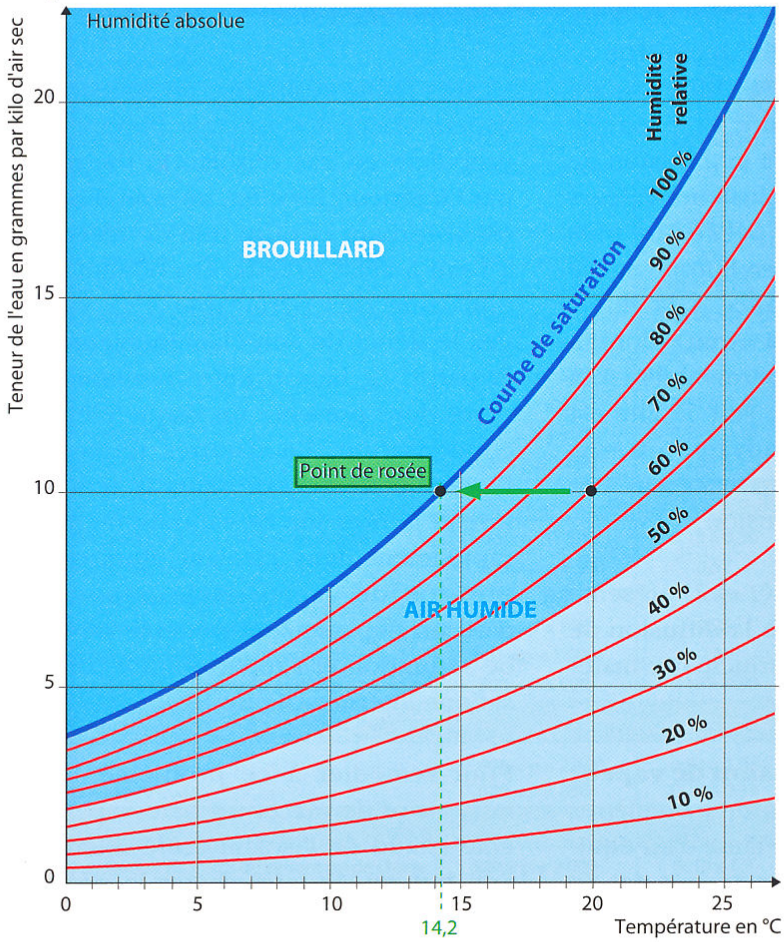


Diagramme de Mollier



Pour connaître la température du point de rosée, placez un point à l'intersection de la courbe d'humidité relative et de la température intérieure.
Reportez horizontalement le point sur la courbe de saturation et lisez la température correspondante.
Exemple :
20 °C à 70 % d'humidité = point de rosée à 14,2 °C.

Figure 6 : La condensation à la surface d'une paroi

vapeur d'eau. Le béton, par exemple, présente une perméabilité de 0,01 à 0,002, la brique creuse de 0,015, le plâtre de 0,01, le contreplaqué de 0,0007, une laine minérale nue de 0,05 à 0,07 et un polystyrène expansé, de 0,0018 à 0,0045 g/m.h.mm Hg.

La **perméance** (P) permet d'évaluer le niveau de perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau homogène pour une épaisseur donnée. On la détermine à partir de la perméabilité P = ϖ / épaisseur en mètres du matériau. Elle caractérise la quantité de vapeur d'eau traversant un mètre carré de matériau en une heure pour une différence de pression d'un millimètre cube de mercure entre les deux faces. P s'exprime en g/m².h.mm Hg.
Enfin, la résistance à la diffusion de vapeur d'eau représente la capacité d'un matériau à résister à la diffusion de vapeur d'eau. Il existe plusieurs valeurs pour exprimer cette capacité. La plus simple et la plus utilisée en Europe utilise le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau « μ » (mu), dont la valeur est basée sur la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air ϖ, soit 1. Elle est établie par la formule suivante : μ = ϖ air/ϖ matériau, soit 1/ ϖ matériau. Mu est une unité sans dimension.

Le tableau de la figure 7 (1 et 2) présente le facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau « μ » des principaux matériaux de construction.

La **résistance à la diffusion de vapeur d'eau** d'un matériau s'exprime en mètres et indique l'épaisseur de lame d'air équivalente. Elle peut se caractériser par Sd ou μd. On l'obtient par le produit de μ par l'épaisseur du matériau en mètres (Sd = μ x e).

Par exemple, une plaque de plâtre a un coefficient μ de 8. Sa résistance à la diffusion de vapeur d'eau Sd est donc de 8 x 0,0125 (12,5 mm) = 0,1 m.
Plus la valeur Sd est élevée, plus le matériau est étanche à la vapeur. Une lame d'air de 1 m présente donc une résistance à la diffusion de vapeur d'eau de 1 m. Un enduit chaux-plâtre a une valeur Sd de 0,15 m (pour 15 mm d'épaisseur), un panneau de fibres de bois de 10 cm, présente une valeur de 0,5 m, une laine minérale de 10 cm, une valeur de 0,1 m, du polystyrène expansé en panneaux de 10 cm, une valeur de 6 m. En revanche, une bande de bitume de 4 mm d'épaisseur et d'un coefficient μ de 60 000, présente une valeur Sd de 240 m.

La très faible résistance au transfert de vapeur d'eau des isolants fibreux pose problème en cas d'isolation thermique par l'intérieur. En effet, ce type d'isolant est absorbant et offre peu de résistance à l'eau à l'état gazeux. On obtient donc une zone très perméable à la vapeur dès le début de son cheminement dans la paroi. La liaison entre l'isolant et la paroi dure présente un risque élevé de condensation. En d'autres termes, de l'intérieur vers l'extérieur, la température et la pression de saturation chutent rapidement dans l'isolant alors que la pression de vapeur reste importante, d'où un dépassement possible du point de saturation et l'apparition de condensations internes (figure 8).

Pour remédier à ce problème, il est nécessaire de placer un pare-vapeur du côté chaud de l'isolant (côté intérieur). Son but est de faire chuter la pression de vapeur d'eau avant son passage dans l'isolant. La pose doit être minutieuse, car le moindre défaut de continuité peut

Caractéristiques physiques des matériaux de construction 1/2

Matériaux	Masse volumique sèche ρ (en Kg/m³)	Conductivité thermique utile λ (en W/m.K)	Chaleur spécifique (en J/Kg.K)	Facteur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau μ
Pierres (la conductivité thermique indiquée tient compte des joints)				
Granites	2 500 ≤ ρ ≤ 2 900	2,8	1 000	10 000
Schistes, ardoises	2 000 ≤ ρ ≤ 2 800	2,2	1 000	800 à 1 000
Basaltes	2 700 ≤ ρ ≤ 3 000	1,6	1 000	10 000
Pierres naturelles poreuses (laves)	ρ ≤ 1 600	0,55	1 000	15 à 20
Marbres	2 600 ≤ ρ ≤ 2 800	3,5	1 000	10 000
Pierres calcaires dures	2 000 ≤ ρ ≤ 2 190	1,7	1 000	150 à 200
Pierres calcaires fermes, demi-fermes	1 800 ≤ ρ ≤ 1 990	1,4	1 000	40 à 50
Pierres calcaires tendres	1 600 ≤ ρ ≤ 1 790	1,1	1 000	25 à 40
Pierres calcaires très tendres	ρ ≤ 1 590	0,85	1 000	20 à 30
Grès quartzeux	2 600 ≤ ρ ≤ 2 800	2,6	1 000	30 à 40
Grès silice	2 200 ≤ ρ ≤ 2 590	2,3	1 000	30 à 40
Grès calcarifères	2 000 ≤ ρ ≤ 2 700	1,9	1 000	20 à 30
Silex	2 600 ≤ ρ ≤ 2 800	2,6	1 000	10 000
Meulières	1 900 ≤ ρ ≤ 2 500	1,8	1 000	40 à 50
Meulières	1 300 ≤ ρ ≤ 1 900	0,9	1 000	20 à 30
Pierre ponces naturelles	ρ ≤ 400	0,12	1 000	6 à 8
Bétons				
Béton plein (granulats silicieux, calcaires…)	2 000 ≤ ρ ≤ 2 600	1,65 à 2,00	1 000	70 à 130
Béton armé	2 300 ≤ ρ ≤ 2 400	2,3 à 2,5	1 000	80 à 130
Béton de granulats légers				
- avec pouzzolane 750 Kg/m³	1 000 ≤ ρ ≤ 1 600	0,35 à 0,52	1 000	20 à 30
- avec ponce naturelle	950≤ ρ ≤ 1 150	0,46	1 000	40 à 50
- avec argile expansée, dosage ciment : 300 Kg/m³	1 400 ≤ ρ ≤ 1 600	0,85 à 1,5	1 000	6 à 8
- avec argile expansée, dosage ciment : 250 Kg/m³	1 000 ≤ ρ ≤ 1 400	0,46 à 0,7	1 000	4 à 6
- avec perlite ou vermiculite	600 ≤ ρ ≤ 800	0,24 à 0,31	1 000	4 à 6
- avec copeaux de bois	450 ≤ ρ ≤ 650	0,16	1 000	10 à 15
Béton cellulaire	365 ≤ ρ ≤ 825	0,11 à 0,29	1 000	3 à 10
Béton chaux chanvre	270 ≤ ρ ≤ 450	0,13 à 0,18	680	6 à 8
Blocs de béton	600 ≤ ρ ≤ 1 600	0,35 à 1	1 000	10
Plâtres				
Plâtre gâché serré ou plâtre très haute dureté	500 ≤ ρ ≤ 1 500	0,18 à 0,56	1 000	4 à 10
Plâtre d'enduit intérieur	1 000 ≤ ρ ≤ 1 300	0,57	1 000	6 à 10
Enduit intérieur plâtre et sable	ρ ≤ 1 600	0,80	1 000	6 à 10
Plaques de plâtre à parement carton	750 ≤ ρ ≤ 900	0,25	1 000	4 à 10
Plaques de plâtre armées de fibres minérales	800 ≤ ρ ≤ 1 000	0,25	1 000	4 à 10
Plâtre d'enduit avec perlite ou vermiculite	500 ≤ ρ ≤ 900	0,18 à 0,30	1 000	6 à 10
Terre cuite (utilisée dans les éléments de maçonnerie)				
Terre cuite	1 000 ≤ ρ ≤ 2 400	0,34 à 1,04	1 000	10 à 16
Monomurs en terre cuite	600 ≤ ρ ≤ 850	0,12 à 0,14	1 000	13
Divers				
Mortiers d'enduits et de joints de ciment ou de chaux	500 ≤ ρ ≤ 2 000	0,30 à 1,9	1 000	6 à 10
Pisé, bauge, bloc de terre	1 770 ≤ ρ ≤ 2 000	1,1	900	10
Béton chaux chanvre	270 ≤ ρ ≤ 450	0,13 à 0,18	680	6 à 8

Figure 7 : Les caractéristiques physiques des matériaux de construction (1)

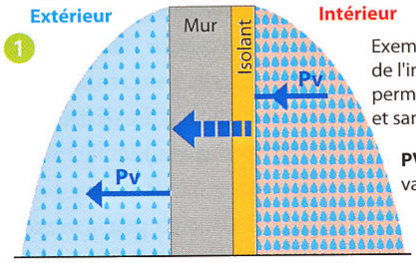
Caractéristiques physiques des matériaux de construction 2/2

Matériaux	Masse volumique sèche ρ (en Kg/m³)	Conductivité thermique utile λ (en W/m.K)	Chaleur spécifique (en J/Kg.K)	Facteur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau μ
Végétaux				
Bois :				
- feuillus lourds à très lourds	750 ≤ ρ ≤ 870	0,23 à 0,29	1 600	50
- feuillus mi-lourds à très légers	200 ≤ ρ ≤ 750	0,13 à 0,18	1 600	20 à 50
- résineux lourds à très lourds	520 ≤ ρ ≤ 700	0,18 à 0,23	1 600	20 à 50
- résineux mi-lourds à légers	400 ≤ ρ ≤ 520	0,13 à 0,15	1 600	20 à 50
Panneaux de contreplaqué	250 ≤ ρ ≤ 900	0,13 à 0,21	1 600	50 à 100
Panneaux d'OSB	ρ ≤ 650	0,13	1 700	30 à 50
Panneaux de particules	180 ≤ ρ ≤ 820	0,10 à 0,18	1 700	20
Panneaux de fibres	200 ≤ ρ ≤ 1 000	0,10 à 0,20	1 700	6 à 50
Panneaux fibragglo	250 ≤ ρ ≤ 550	0,10 à 0,15	1 700	5 à 20
Liège :				
- comprimé	ρ ≤ 500	0,10	1 560	5 à 10
- expansé pur	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049	1 560	5
- expansé aggloméré au brai ou aux résines	100 ≤ ρ ≤ 250	0,049 à 0,055	1 560	5
Paille comprimée	300 ≤ ρ ≤ 400	0,12	1 400	1
Isolants				
Laines de roche classe RA	18 ≤ ρ ≤ 80	0,038 à 0,047	1 030	1
Laines de roche classe RB	60 ≤ ρ ≤ 180	0,039 à 0,041	1 030	1
Laines de verre classe VA	7 ≤ ρ ≤ 65	0,034 à 0,047	1 030	1
Laines de verre classe VB	7 ≤ ρ ≤ 65	0,035 à 0,051	1 030	1
Laines de verre classe VC	7 ≤ ρ ≤ 130	0,036 à 0,056	1 030	1
Laines de verre classe VD	9,5 ≤ ρ ≤ 25	0,043 à 0,054	1 030	1
Laines de verre classe VE	55 ≤ ρ ≤ 130	0,037 à 0,039	1 030	1
Polystyrène expansé :				
- découpé dans des blocs moulés en discontinu	10 ≤ ρ ≤ 30	0,035 à 0,047	1 450	60
- moulé en continu	10 ≤ ρ ≤ 35	0,035 à 0,047	1 450	60
Polystyrène extrudé :				
- contenant de l'air	28 ≤ ρ ≤ 40	0,042	1 450	150
- contenant des HCFC	25 ≤ ρ ≤ 40	0,035	1 450	150
Mousse de polyuréthane :				
- découpé dans des blocs moulés en discontinu	30 ≤ ρ ≤ 100	0,030 à 0,045	1 400	60
- moulé en continu	27 ≤ ρ ≤ 35	0,030	1 400	60
Plaques à base de perlite expansée	180 ≤ ρ ≤ 275	0,056 à 0,062	900	5
Plaques de verre cellulaire	110 ≤ ρ ≤ 140	0,050	1 000	Infini
Panneaux de chanvre	35 ≤ ρ ≤ 40	0,040 à 0,041	1 700	1 à 2
Panneaux de fibres de bois	100 ≤ ρ ≤ 240	0,040 à 0,047	2 100	5
Panneaux de laine de bois	ρ ≤ 50	0,038	2 100	1 à 2
Ouate de cellulose	30 ≤ ρ ≤ 70	0,038 à 0,041	1 980	1 à 2
Panneaux de ouate de cellulose	70	0,039	2 000	2 à 3
Laine de mouton	12 ≤ ρ ≤ 35	0,035 à 0,042	1 720	1
Laine de lin	30 ≤ ρ	0,040	1 600	1
Plumes de canard	20 ≤ ρ ≤ 30	0,033 à 0,035	n.c.	6

Figure 7 : Les caractéristiques physiques des matériaux de construction (2)

Condensation dans les parois

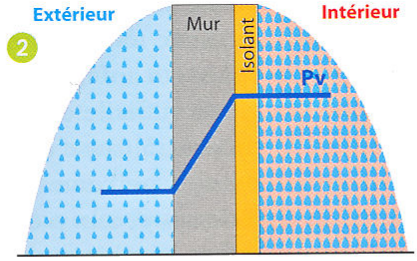
Formation de condensation interne par diffusion de vapeur



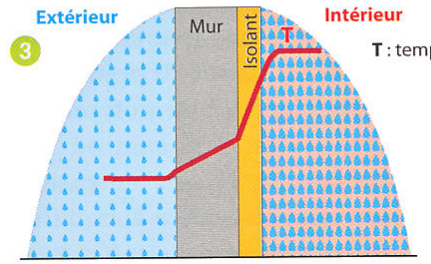
Exemple avec mur isolé de l'intérieur avec un isolant perméable à la vapeur d'eau et sans pare-vapeur.

PV : pression de vapeur d'eau

En hiver, la pression de vapeur d'eau de l'air chaud à l'intérieur est supérieure à celle de l'air froid extérieur. Il y a donc transfert de vapeur à travers la paroi de l'intérieur vers l'extérieur, comme pour le flux de chaleur.

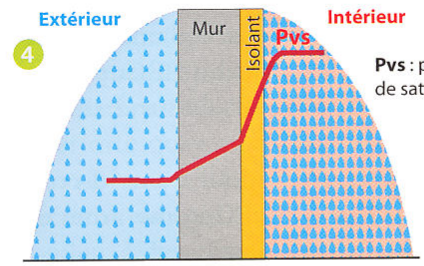


La paroi étant constituée de plusieurs éléments, une chute de pression se produit dans chaque couche de matériau en fonction de sa résistance à la diffusion de vapeur.



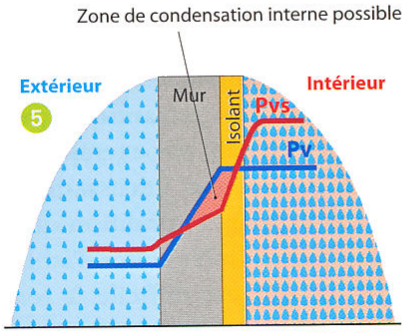
T : température

Le flux thermique occasionne une baisse de température dans les différentes couches de matériaux, d'autant plus importante que leur résistance thermique est élevée.

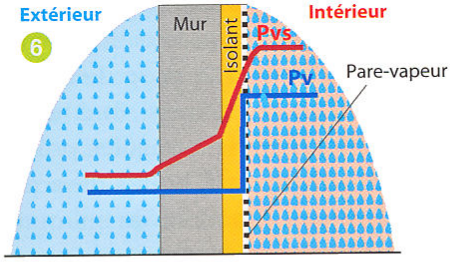


Pvs : pression de vapeur de saturation

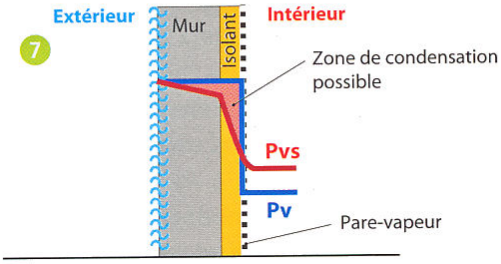
La baisse de température à l'intérieur des divers composants du mur permet de déterminer une courbe de la pression de vapeur de saturation.



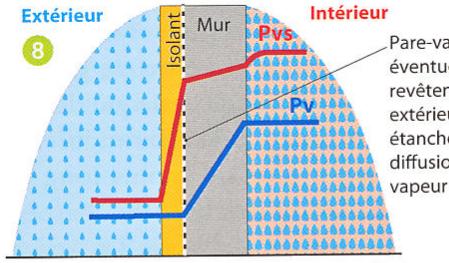
La condensation interne peut se produire dans une couche de matériau si la pression de vapeur réelle devient égale ou supérieure à la pression de vapeur de saturation.



Avec un pare-vapeur posé côté chauffé, la pression de vapeur réelle devient inférieure à la pression de vapeur de saturation, ce qui évite tout risque de condensation.



En été, si un mur extérieur est mal protégé de l'humidité, son assèchement peut se faire du côté intérieur et provoquer un risque de condensation à la liaison isolant/pare-vapeur.



Un mur isolé par l'extérieur ne présente pas de risques de condensation si toutefois la migration de vapeur peut se faire normalement de l'intérieur vers l'extérieur.

Figure 8 : La condensation dans les parois

provoquer un pont de vapeur et une zone de condensation interne. Elle peut apparaître sur la face intérieure du mur, voire dans l'isolant.
Dans le cas d'un isolant non perméable à la vapeur d'eau, par exemple du polystyrène, il n'est pas nécessaire de poser un pare-vapeur, à condition que l'air ne puisse pas circuler entre l'isolant et la paroi, ce qui est difficile à réaliser, ni transiter entre les panneaux. En effet, une condensation interne peut également se produire par convection. L'air intérieur chaud et humide pénétrant derrière l'isolant peut condenser au contact de la paroi froide. La pose de l'isolant doit donc, dans ce cas aussi, être réalisée avec soin, notamment à tous les points singuliers (percements, boîtes d'encastrement électriques, jonctions au sol ou entre les panneaux d'isolant).
La maîtrise du transfert de la vapeur d'eau à travers les parois est un paramètre primordial à prendre en compte lorsqu'on souhaite réaliser l'isolation thermique par l'intérieur des murs extérieurs lourds. Cela est vrai également pour les combles aménagés et les constructions à ossature bois.
En hiver, la vapeur transite de l'intérieur vers l'extérieur et condense donc à sa sortie de l'isolant. Même si la toiture est correctement ventilée, l'air froid ne pouvant pas absorber une grande quantité de vapeur d'eau, il y a condensation, voire formation de givre ou de glace directement sur l'isolant. Il risque de perdre ses performances, de s'humidifier et d'entraîner, à plus ou moins long terme, la dégradation des bois de charpente.

Dans la plupart des cas, il est donc indispensable de freiner la vapeur d'eau qui transite dans ces parois. Si vous réalisez une parfaite étanchéité à l'air à l'intérieur des combles, avec des plaques de plâtre parfaitement jointoyées, par exemple, le transfert de vapeur d'eau par convection est diminué. Cependant, le transfert par diffusion persiste, surtout à travers le plâtre. Par exemple, avec un matériau ayant une faible résistance à la diffusion de vapeur d'eau, soit moins de 0,25 m, le transfert de vapeur par diffusion peut atteindre 2,2 g/h/m². Il est par conséquent indispensable de poser un pare-vapeur continu avant l'isolant.
Il est important de savoir que le papier kraft intégré aux isolants est censé jouer le rôle de pare-vapeur (avec une valeur Sd = 3 m, pour une épaisseur inférieure à 1 mm). Cependant, il est difficile de le rendre parfaitement continu, à cause des nombreux déchirements et percements dus aux éléments de l'ossature, aux passages de gaines, aux joints au niveau du sol, etc. C'est d'ailleurs pourquoi ce type de pare-vapeur n'est pas admis dans les constructions à ossature bois.
Un pare-vapeur indépendant et continu est fortement recommandé. Il peut s'agir de film de polyéthylène, de polypropylène, de PVC...
Les pare-vapeur sont classés en quatre familles selon leur résistance à la diffusion de la vapeur d'eau :
- E1 pour les pare-vapeur d'un Sd compris entre 2 et 5 m (film PE inférieur à 0,1 mm ou film PVC inférieur à 1 mm) ;
- E2 pour les pare-vapeur d'un Sd compris entre 5 et 25 m (film PE supérieur à 0,1 mm ou film PVC supérieur à 1 mm) ;
- E3 pour les pare-vapeur d'un Sd compris entre 25 et 200 m (bitume armé ou polymère) ;
- E4 pour les pare-vapeur d'un Sd supérieur à 200 m (bitume armé d'une feuille métallique, systèmes bitumeux multicouches).

Les pare-vapeur hygrorégulants, aussi appelés freine-vapeur, représentent les produits les plus performants actuellement (voir page 287). Ils sont parfaitement indiqués dans les combles aménagés, les structures à ossature bois et pour les murs lourds avec isolation par l'intérieur. Dans les combles habitables, on les associe généralement avec un écran sous toiture étanche à l'eau mais perspirant. La résistance à la diffusion de vapeur d'eau des pare-vapeur hygrorégulants est variable selon les saisons. Ils permettent de réguler efficacement le transfert de vapeur d'eau dans toutes les conditions et de laisser respirer la paroi ou la toiture, en minimisant les risques de condensation interne. Ils permettent également d'assurer la fonction d'étanchéité à l'air lorsque tous les points singuliers sont traités.

Un autre facteur à prendre en compte est la ventilation de l'habitation. Si elle est permanente et performante, elle permet d'évacuer la majeure partie de la vapeur d'eau et de minimiser les transferts à travers les parois en contact avec l'extérieur.

Les normes françaises définissent le classement des locaux selon la quantité de vapeur d'eau produite et la performance de la ventilation. Ce classement est défini par le rapport de la quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur (W en grammes par heures) par le taux de renouvellement d'air (n en mètres cubes par heure). Le résultat est une valeur en grammes par mètres cubes. Le classement répertorie quatre types de locaux :

- les locaux à faible hygrométrie (W/n inférieur ou égal à 2,5 g/m^3) qui correspondent à des immeubles de bureaux sans climatisation ou à des habitations équipés d'une VMC ou de systèmes propres à évacuer les condensations dès qu'elles se produisent (hotte, extracteur...) ;
- les locaux à hygrométrie moyenne (W/n compris entre 2,5 et 5 g/m^3), qui caractérise les locaux d'habitation correctement chauffés et ventilés (y compris les salles d'eau et les cuisines), sans suroccupation ;
- les locaux à forte hygrométrie (W/n compris entre 5 et 7,5 g/m^3) sont des locaux d'habitation mal ventilés ou suroccupés ;
- les locaux à très forte hygrométrie (W/n supérieur à 5 g/m^3), ne concernent pas les locaux d'habitation (salles d'eau collectives, piscines couvertes, etc.).

On constate que selon son système de ventilation, un logement peut être classé de faible à forte hygrométrie. Cela a pour conséquence que l'on devra utiliser des pare-vapeur plus performants et parfaitement étanchés pour freiner le plus possible la migration de vapeur dans les parois. La plupart des solutions d'isolation sont prévues pour des locaux à faible ou moyenne hygrométrie, ce qui n'est pas le cas d'un logement ancien mal ventilé, par exemple.

Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, la pression de vapeur chute rapidement dans la paroi et arrive à un niveau bas à son entrée dans l'isolant. Le risque de condensation interne est donc limité. Le revêtement extérieur doit tout de même être perméable à la vapeur et étanche au ruissellement. Si le revêtement extérieur choisi est imperméable à la vapeur, il faut alors placer un pare-vapeur entre l'isolant et le mur ou créer une lame d'air ventilée entre l'isolant et la finition extérieure.

L'étanchéité à l'air

Comme pour la vapeur, des différences de pression existent dues au vent ou aux différences de température. Il convient

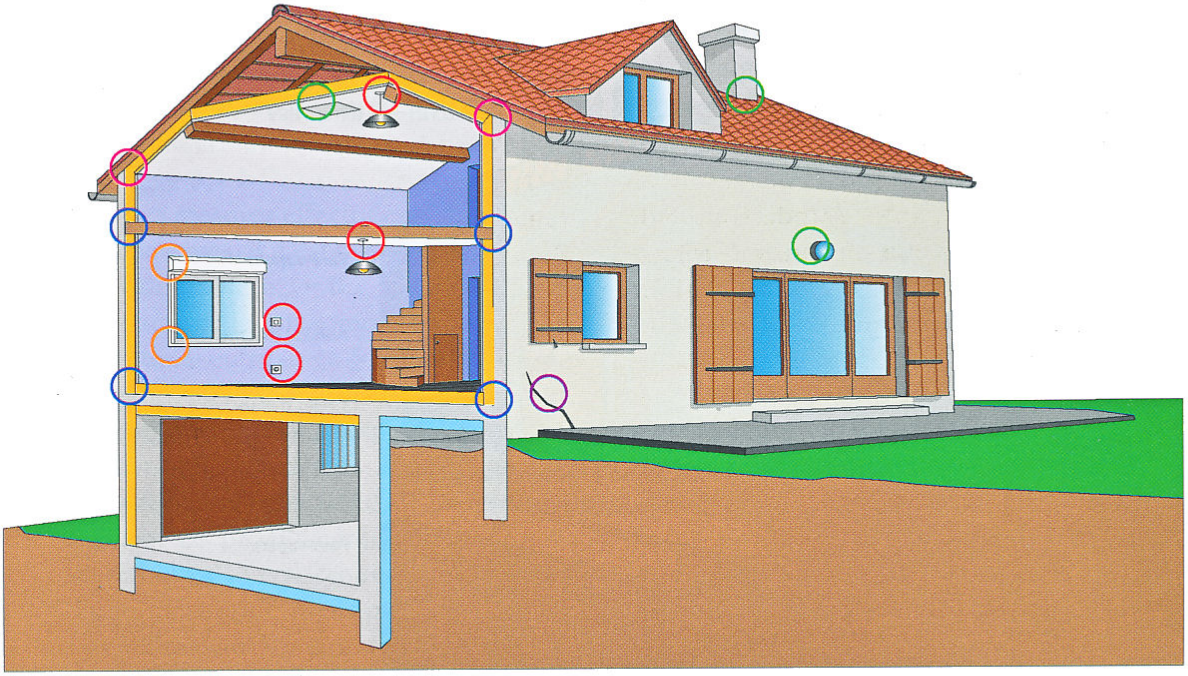
donc de limiter les passages de l'air, présents dans l'ensemble de l'enveloppe d'un bâtiment, par exemple aux liaisons entre murs et toiture, murs et menuiseries, points de passage des canalisations ou fissures dans le gros œuvre (figure 9). Les fuites au niveau des menuiseries sont les plus importantes (plus de 40 %). Étonnamment, l'autre grande source de fuites d'air dans une maison, soit près de 40 % également, est constituée par les équipements électriques (boîtes d'encastrement). Ce point est rarement pris en compte alors qu'il est très important et qu'il ne nécessite pas une grande technicité pour être traité mais plutôt de la minutie et des matériels adaptés (boîtes d'encastrement étanches).

L'isolation doit par conséquent être parfaitement réalisée pour éviter les fuites d'air chaud. Cela implique que les éléments d'isolant soient parfaitement jointifs entre eux et avec les structures. Il en va de même pour les pare-vapeurs, puisqu'ils participent également à l'étanchéité à l'air et pour les passages des canalisations d'eau ou autres.
De ce fait, une habitation correctement isolée n'a pas de fuites d'air. C'est pourquoi il faut prévoir une ventilation mécanique adaptée pour renouveler l'air intérieur de façon régulière et suffisante. La simple ouverture des fenêtres pendant quelques minutes chaque jour ne suffit pas. La pollution intérieure et les odeurs augmenteraient trop rapidement.
L'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau sont deux phénomènes différents mais liés. C'est pourquoi, un pare-vapeur rapporté est une bonne solution, puisqu'il permet de maîtriser les deux.
À l'instar des ponts thermiques, où de l'étanchéité d'une piscine, il suffit d'une petite fente, par exemple entre des plaques de plâtre, pour créer d'importants désagréments et des pertes d'énergie inutiles. Un interstice de 1 mm entre des plaques de plâtre peut laisser pénétrer, par convection, 800 g/m² d'humidité durant une journée d'hiver, alors qu'un pare-vapeur hygrorégulant rapporté, ne laissera pénétrer que 5 g (source Pro Clima).
En ce qui concerne les pertes d'énergie, les conséquences sont également non négligeables. D'après une étude de l'institut de physique du bâtiment de Stuttgart, une maison de 80 m² qui présente des fuites d'air nécessite une quantité d'énergie de chauffage aussi importante qu'une habitation de 400 m² avec une étanchéité à l'air parfaite.
Si l'utilisation d'un pare-vapeur rapporté est indispensable pour une maison à ossature bois, elle est fortement recommandée en isolation par l'intérieur, pour les toitures inclinées et les parois verticales.

En fonction de la technique constructive ou d'isolation choisie, l'étanchéité à l'air peut s'effectuer par l'intérieur ou par l'extérieur. La figure 10 présente des solutions adaptées aux maisons à ossature bois. Ces règles valent également parfaitement pour les constructions en dur isolées par l'intérieur.
En France, l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau sont rarement des aspects pris en compte et traités avec rigueur. C'est pourtant fondamental si l'on souhaite réaliser des bâtiments à très faible consommation d'énergie.
Rappelons que le standard des constructions PassivHaus ou Minergie P (voir page 63) doit être une perméabilité à l'air inférieure à $n_{50} = 0{,}6\ h^{-1}$. C'est-à-dire que pour une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur de 50 Pa,

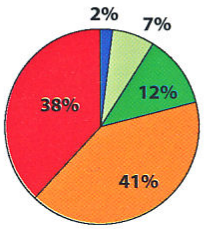
Étanchéité à l'air

Les points de passage de l'air



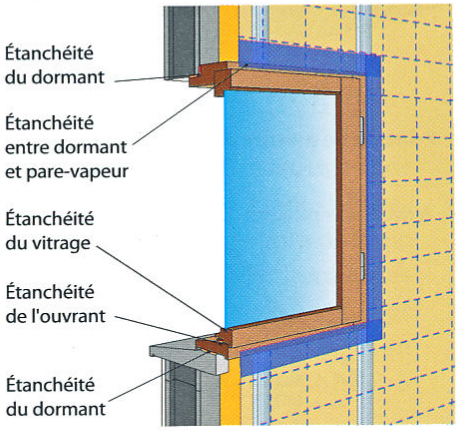
- Liaisons façade/plancher
- Liaisons façade/toiture
- Menuiseries extérieures
- Trappes et éléments traversant les parois
- Équipements électriques
- Fissures dans le gros œuvre

Fuites récurrentes



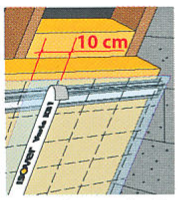
- Menuiseries
- Passages des équipements électriques
- Trappes
- Tuyauteries
- Structure

Menuiseries

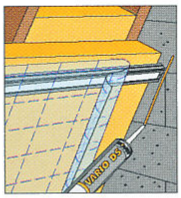


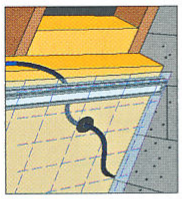
En isolation par l'intérieur (Source Isover)

Utilisez un pare-vapeur continu, rapporté, hygro-régulant ou traditionnel.
Les raccords entre les lés et entre le pare-vapeur et la maçonnerie sont étanchéifiés par un adhésif. Traitez impérativement tous les points singuliers.



Raccords entre les lés


Raccords avec la maçonnerie


Utilisation d'un œillet adhésif sur un conduit électrique

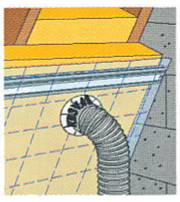
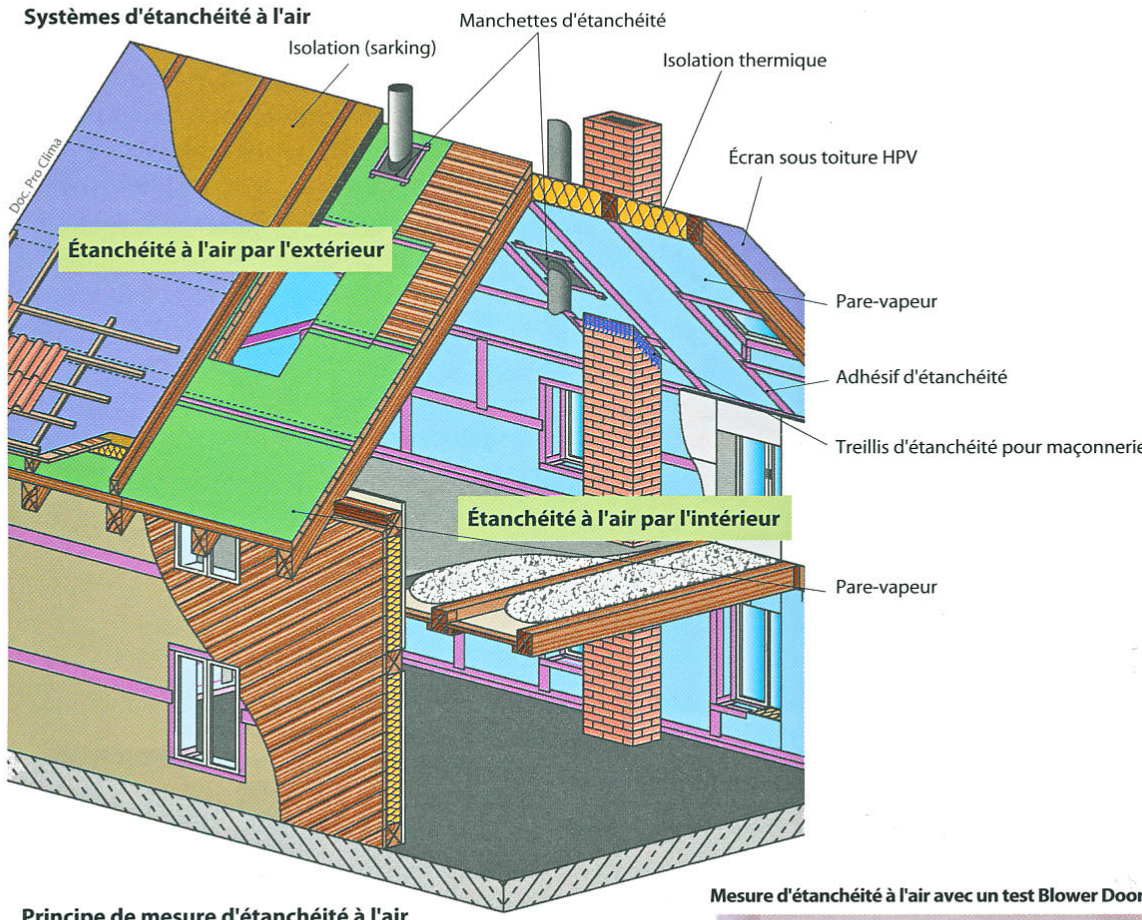

Utilisation de ruban adhésif sur divers conduits

Figure 9 : L'étanchéité à l'air

Étanchéité à l'air d'une construction



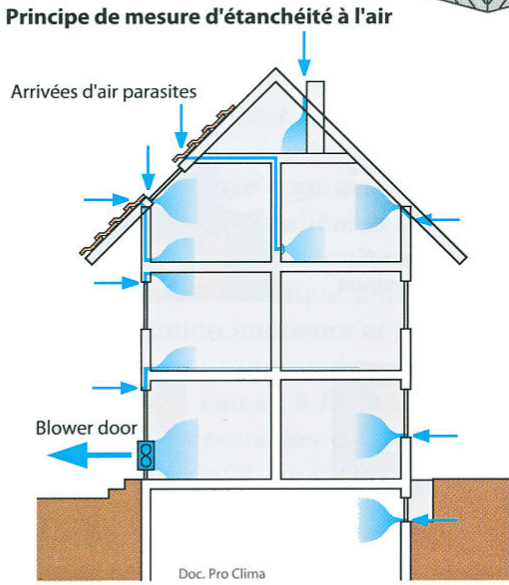


Figure 10 : L'étanchéité à l'air d'une construction

le taux de renouvellement d'air, dû à la perméabilité de la construction, doit être inférieur à 0,6 volume de l'habitation en mètres cubes, par heure. Ce niveau de performance est environ cinq fois supérieur à la valeur de référence de la RT 2005 concernant les maisons individuelles (n_{50} = 3,1 h^{-1}).
Lors des mesures effectuées pour les maisons passives, il n'est pas rare d'atteindre des valeurs de n_{50} = 0,2 h^{-1}.
L'impact sur la consommation d'énergie est estimé entre 2 et 5 kWh/m^2/an par unité de n_{50}.
Naturellement, pour respecter les réglementations thermiques et les labels, il faut mesurer l'étanchéité à l'air de façon précise. Le procédé internationalement reconnu est le test *blower door*. Il s'agit d'une mesure de pression différentielle, qui nécessite un appareil spécifique doté d'une soufflerie (*blower*) installé de manière étanche sur la porte d'entrée (*door*). En appartement collectif, cette installation peut être réalisée sur une fenêtre.

On calcule le volume d'air total contenu à l'intérieur de l'habitation. Le test du *blower door* permet de mesurer le volume d'air aspiré ou expulsé, en mètres cubes par heure, dus aux défauts d'étanchéité de la construction. Les mesures sont exécutés sous différentes variables. L'appareil crée des surpressions et des dépressions intérieures afin de détecter tous les types de fuites. Le coefficient n_{50} s'obtient en divisant le volume d'air mesuré par le *blower door* sous une différence de pression de 50 Pa, par le volume total de l'habitation.

Cette machine permet également de visualiser les fuites. Pour cela, on place l'habitation en surpression et l'on diffuse un brouillard artificiel. Les endroits par lesquels s'échappe le brouillard vers l'extérieur sont des défauts d'étanchéité à l'air. Il est également possible de détecter les défauts d'étanchéité grâce à la thermographie. Ce test doit s'effectuer de préférence en hiver lorsque la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est comprise entre 15 et 20 °C. On crée une surpression dans l'habitation, grâce au *blower door*, pendant une quinzaine de minutes. L'air chaud intérieur s'échappe alors à travers les passages dus aux défauts d'étanchéité en réchauffant les éléments de construction environnants. Une caméra thermographique pourra alors aisément les détecter.
Le test inverse est également possible, en créant une dépression à l'intérieur pour aspirer l'air froid. La détection se fera de la même manière, mais de l'intérieur.
Ce type de tests reste néanmoins assez onéreux.

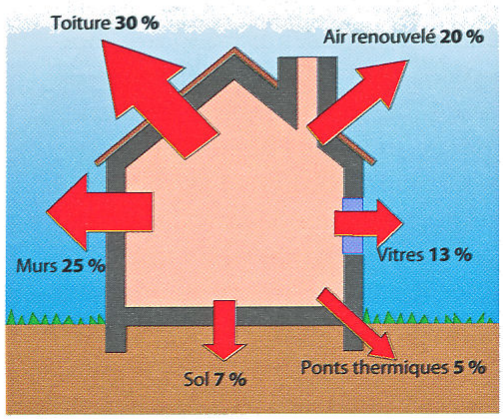
Les déperditions thermiques

En fonction des caractéristiques des matériaux, de la structure et de l'enveloppe d'un bâtiment, il se produit en permanence des déperditions thermiques (figure 11). Comme nous l'avons vu, elles sont de deux natures : par transmission ou par ventilation et perméabilité à l'air.
Dans une habitation non isolée, les déperditions thermiques sont maximales en hiver, au niveau des parois opaques et vitrées. La ventilation naturelle et non contrôlée augmente encore les pertes. Environ 30 % de la chaleur s'échappe par le toit, 25 % par les murs, 13 % par les parois vitrées, 7 % par le sol et 5 % par les ponts thermiques. En été, le soleil surchauffe l'ambiance intérieure.

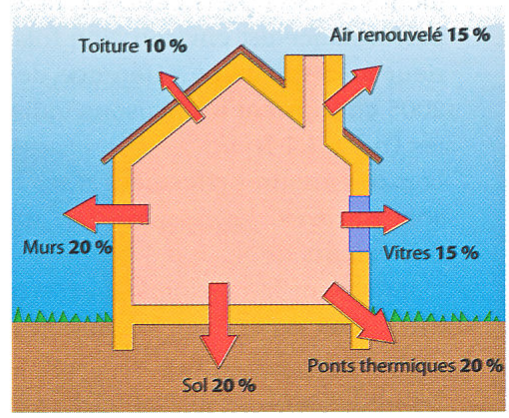
Déperditions thermiques

Déperditions dans une maison individuelle

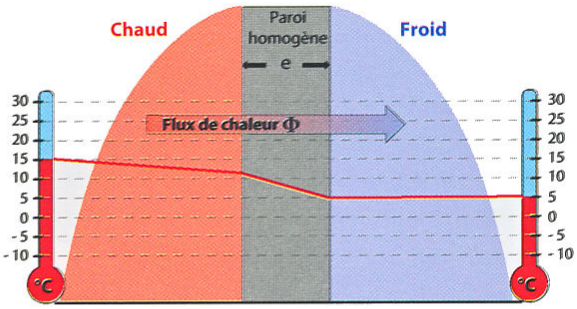
Maison non isolée

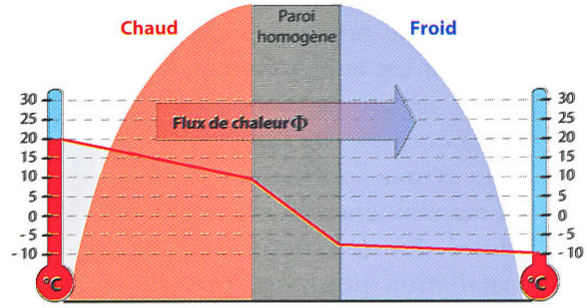


Maison isolée selon la RT



Fuites de chaleur et flux de chaleur





Flux de chaleur $\Phi = \lambda \times \frac{\Delta t}{e}$ (paroi homogène)

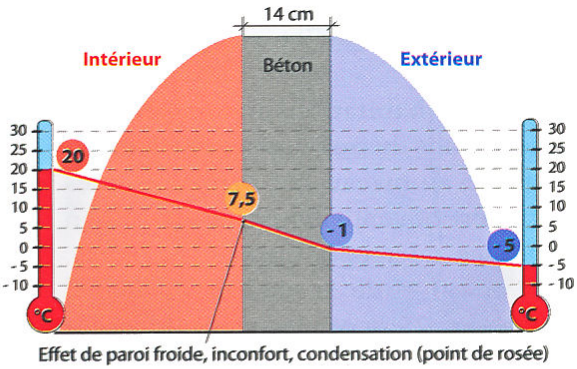
- Φ Flux de chaleur en W/m²
- λ Conductivité thermique de la paroi en W/m.K
- Δt Différence de température de part et d'autre de la paroi en °C
- e Épaisseur de la paroi en m

Exemple avec un mur en béton de 0,20 m d'épaisseur ($\lambda = 0,92$).
Température intérieure : 20 °C, température extérieure : -10 °C.
$\Delta t = 20 - (-10) = 30$ °C.
Flux thermique $\Phi = 0,92 \times 30/0,20 = 138$ W/m².

Le flux thermique dépend de la conductivité thermique du matériau, de son épaisseur et de l'écart de température.

Évolution de la température dans les parois

Paroi non isolée



Effet de paroi froide, inconfort, condensation (point de rosée)

Paroi isolée par l'intérieur

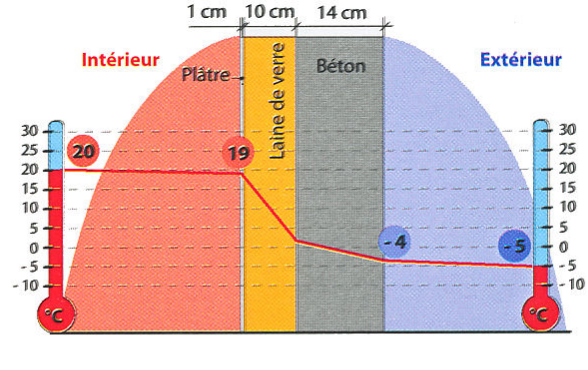


Figure 11 : Les déperditions thermiques

Dans une maison correctement isolée, les flux de chaleur sont réduits sur l'ensemble des parois. La ventilation contrôlée optimise le renouvellement d'air avec le moins de déperditions possible. Dans ce cas, les pertes de chaleur sont de 10 % par le toit, 20 % par les murs, 20 % par le sol, 15 % par les parois vitrées et 20 % par les ponts thermiques (selon les critères de la RT 2005).

Si les ponts thermiques sont minimes dans un bâtiment non isolé, puisque la chaleur passe partout, ils constituent un nouveau problème à combattre en matière d'isolation. Ils se produisent généralement aux points singuliers de la construction et aux endroits où il y a discontinuité de l'isolation. La nature des ponts thermiques et leur traitement sont présentés plus en détail à la page 83.

Par la réduction des déperditions, l'isolation améliore le confort intérieur pour les occupants, notamment en supprimant la sensation de parois froides en hiver. En effet, même si la température affichée par le thermomètre est suffisante, la proximité d'une paroi froide donne l'impression que c'est la température ambiante qui est basse, ce qui incite les occupants à augmenter la température sur le thermostat. Afin d'éviter cette sensation d'inconfort, la différence de température ne doit pas excéder 8 °C entre les parois vitrées et l'air ambiant. Pour les parois opaques, la différence ne doit pas excéder 5 °C. Pour éliminer l'effet de paroi froide, il est plus économique d'isoler les parois concernées plutôt que d'augmenter le chauffage. De même, un sol froid crée une forte sensation d'inconfort pour les habitants. Il doit toujours avoir une température supérieure à 17 °C.

La conception bioclimatique

Pour limiter la consommation d'énergie et augmenter le confort d'une habitation, de nombreux critères sont à prendre en compte. C'est à l'étape du projet qu'un maximum de mesures efficaces et écologiques peuvent être prises. Outre l'isolation, il est primordial de prendre en considération des mesures simples, mais qui peuvent s'avérer fortement efficaces pour les performances futures de la construction.

À l'étape du plan, il est facile d'agir sur la compacité de la maison, sur son orientation en fonction des contraintes urbanistiques et du terrain, sur le choix des matériaux ou sur le dimensionnement et l'exposition des ouvertures.

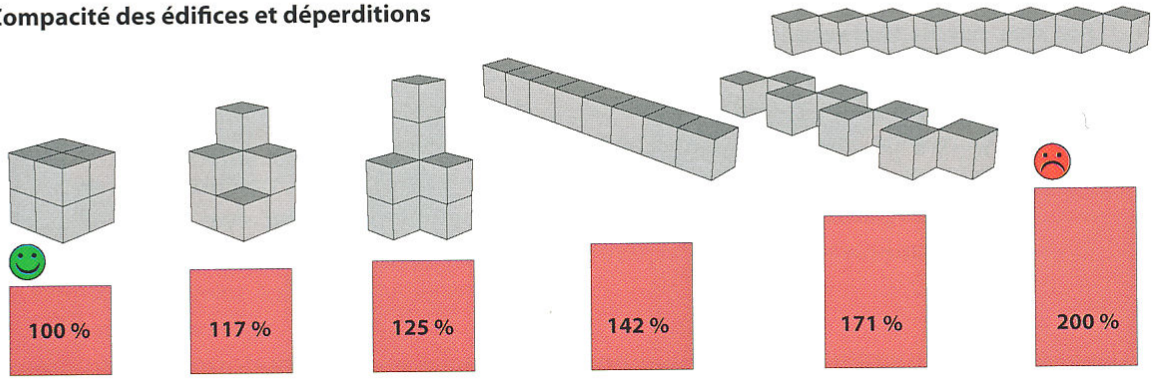
La compacité et la conception de la maison

Toutes les formes de bâtiments ne se valent pas en termes de performances énergétiques. En effet, pour un même volume, plus la surface de parois extérieures est grande, plus les déperditions sont importantes. Il est donc judicieux d'adopter une forme la plus compacte possible pour le futur bâtiment que l'on souhaite construire (figure 12).

Les formes compactes optimisent la répartition de la chaleur. Les décrochements, les balcons, les parties proéminentes augmentent les déperditions. De même, deux maisons mitoyennes sont plus performantes thermiquement que ces mêmes maisons indépendantes. À surface habitable égale, une maison à étage présente moins de déperditions qu'une maison de plain-pied.

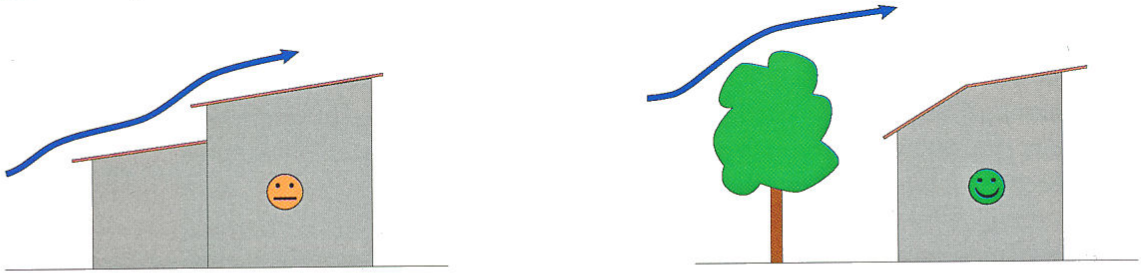
Architecture bioclimatique

Compacité des édifices et déperditions



Pour la même surface au sol, plus la construction est compacte, moins on crée de déperditions et plus on réduit les besoins en chauffage.

Éviter de s'exposer aux vents dominants



Orientation et apports solaires

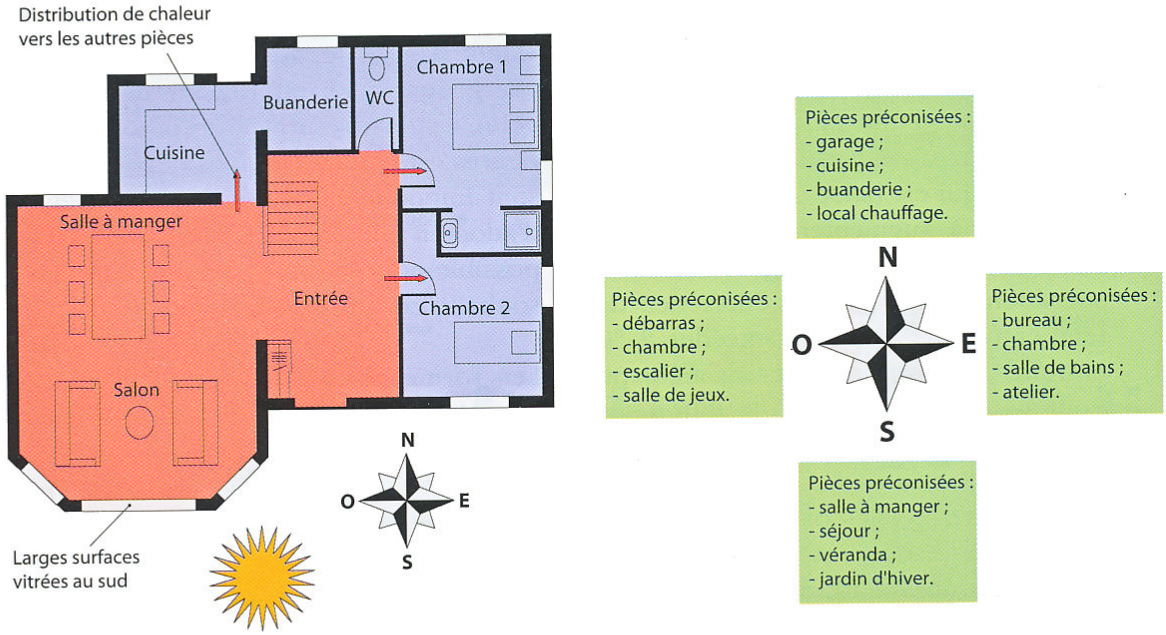


Figure 12 : L'architecture bioclimatique

En fonction de la nature du terrain, par exemple s'il est en pente, il est intéressant du point de vue énergétique, d'enterrer une partie de la construction. En effet, sous terre la température est constante tout au long de l'année. Un sous-sol isolé est doux en hiver et frais en été. Les besoins en chauffage ou en climatisation y sont minimes.

L'orientation de la maison

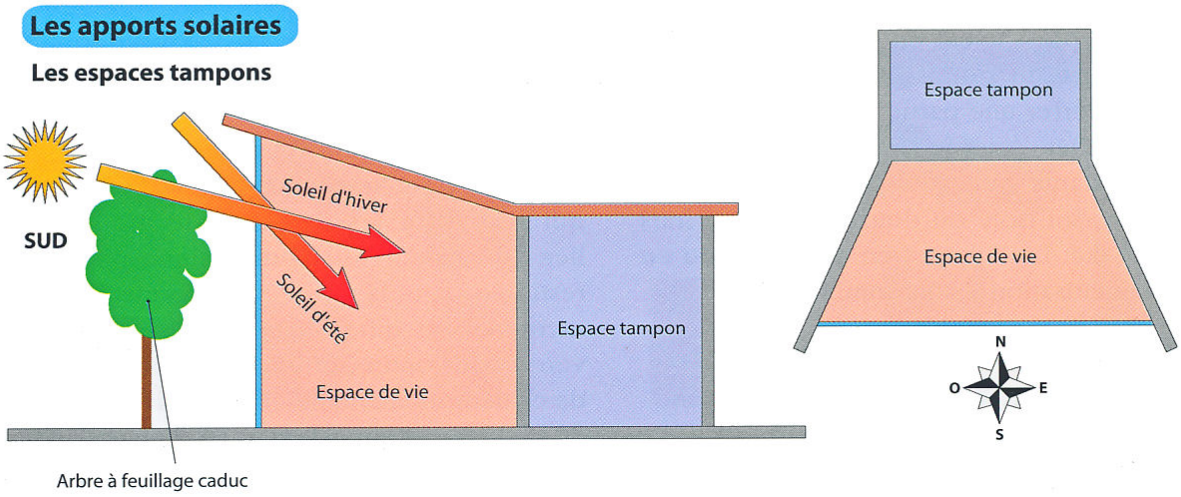
L'orientation de la maison a des conséquences directes sur sa consommation en énergie (figure 12). Dans la mesure du possible, choisissez une orientation sud pour la façade principale, orientation qui peut varier de plus ou moins 25 °. Il convient d'éviter autant que possible d'opposer la construction aux vents dominants. Par exemple, une toiture basse détourne le vent sans s'y opposer brutalement. Placez les entrées sur la façade la moins exposée afin de limiter les pertes lors de leur ouverture. Il est possible de se protéger du vent en profitant du relief du terrain, par un mur, de la végétation ou les habitations avoisinantes.

Les pièces à vivre ainsi que la véranda seront situées au sud pour profiter du soleil bas d'hiver et donc d'un apport de chaleur gratuit. Les chambres seront idéalement situées à l'est pour bénéficier du soleil matinal et de la fraîcheur en soirée. Les pièces techniques (salle de bains, WC, buanderie, garage, circulations...) et les espaces de rangement peuvent être placés au nord, avec des ouvertures les plus petites possible. Ces pièces, moins chauffées, jouent le rôle de zone tampon entre l'extérieur et l'espace de vie (figure 13). La façade nord sera idéalement consacrée à l'accès voiture.
En hiver, pour profiter de l'exposition sud et de ses apports solaires, la méthode la plus efficace consiste à rechercher l'effet de serre. En effet, les vitrages laissent passer le rayonnement solaire qui réchauffe les parois et le mobilier. La chaleur est emmagasinée puis restituée dans la pièce sous forme de rayonnement infrarouge, arrêté par le verre. Pour optimiser encore cet apport de chaleur momentané, il est intéressant de le stocker. Pour cela tous les éléments lourds à forte inertie sont bénéfiques (voir l'inertie, page 42). Là où parvient le rayonnement solaire à l'intérieur de la maison, vous pouvez construire un muret en briques pleines, par exemple pour réaliser un bar, ou opter pour une décoration en béton ou en béton cellulaire. De même, les couleurs utilisées sont importantes. Pour absorber de la chaleur, utilisez des teintes sombres ou du noir. Les couleurs claires et le blanc rejettent le rayonnement. Les éléments de décoration comme les tapis, les coussins ou la moquette jouent un rôle d'isolant thermique, évitez-les donc dans les parties ensoleillées.
Une véranda au sud (voir paragraphe suivant) est un excellent moyen de capter les apports solaires et de les redistribuer entre les pièces à vivre avec lesquelles elle communique.

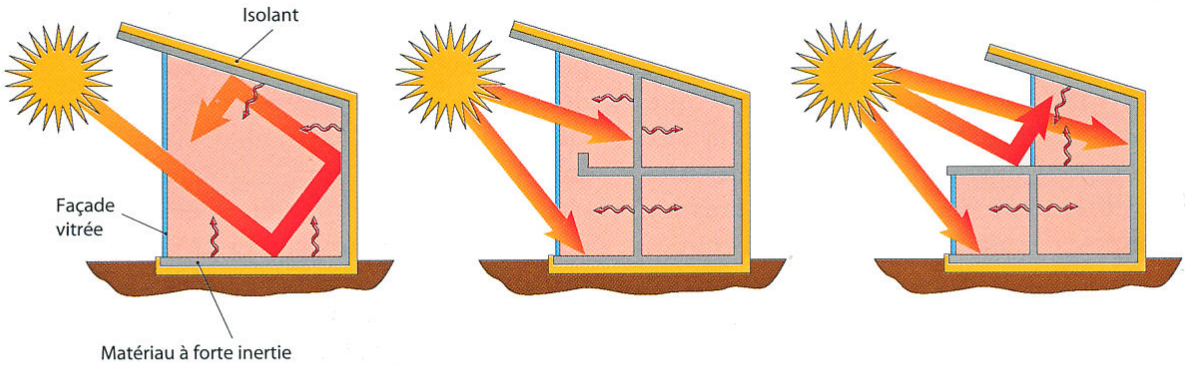
Au plus fort de l'été, l'exposition sud devient un inconvénient et doit être contrebalancée par des protections contre l'ensoleillement. À cet effet, prévoyez des auvents, des stores bannes ou un débordement du toit (figure 14). Il existe des auvents à panneaux solaires qui renforcent encore l'utilité d'une telle installation. Si vous utilisez un logiciel pour réaliser vos plans, il existe généra-

Les apports solaires

Les espaces tampons



Stocker les apports solaires l'hiver avec les surfaces d'échange et l'inertie



Exemple 1 **Exemple 2** **Exemple 3**

Capacités d'absorption de chaleur de différents matériaux

Coefficient d'absorbtion de chaleur de différents matériaux	
Matériaux	Coefficient d'absorption
Béton brut	0,6
Plâtre	0,07
Brique rouge	0,55
Ardoise	0,89
Peintures à l'huile	
Noire	0,9
Blanc cassé	0,33
Gris clair	0,55
Rouge	0,74
Jaune paille	0,45
Peintures cellulosiques	
Bleu foncé	0,91
Marron	0,79
Vert	0,79
Orange	0,41
Rouge foncé	0,57
Blanche	0,12

Figure 13 : Les apports solaires

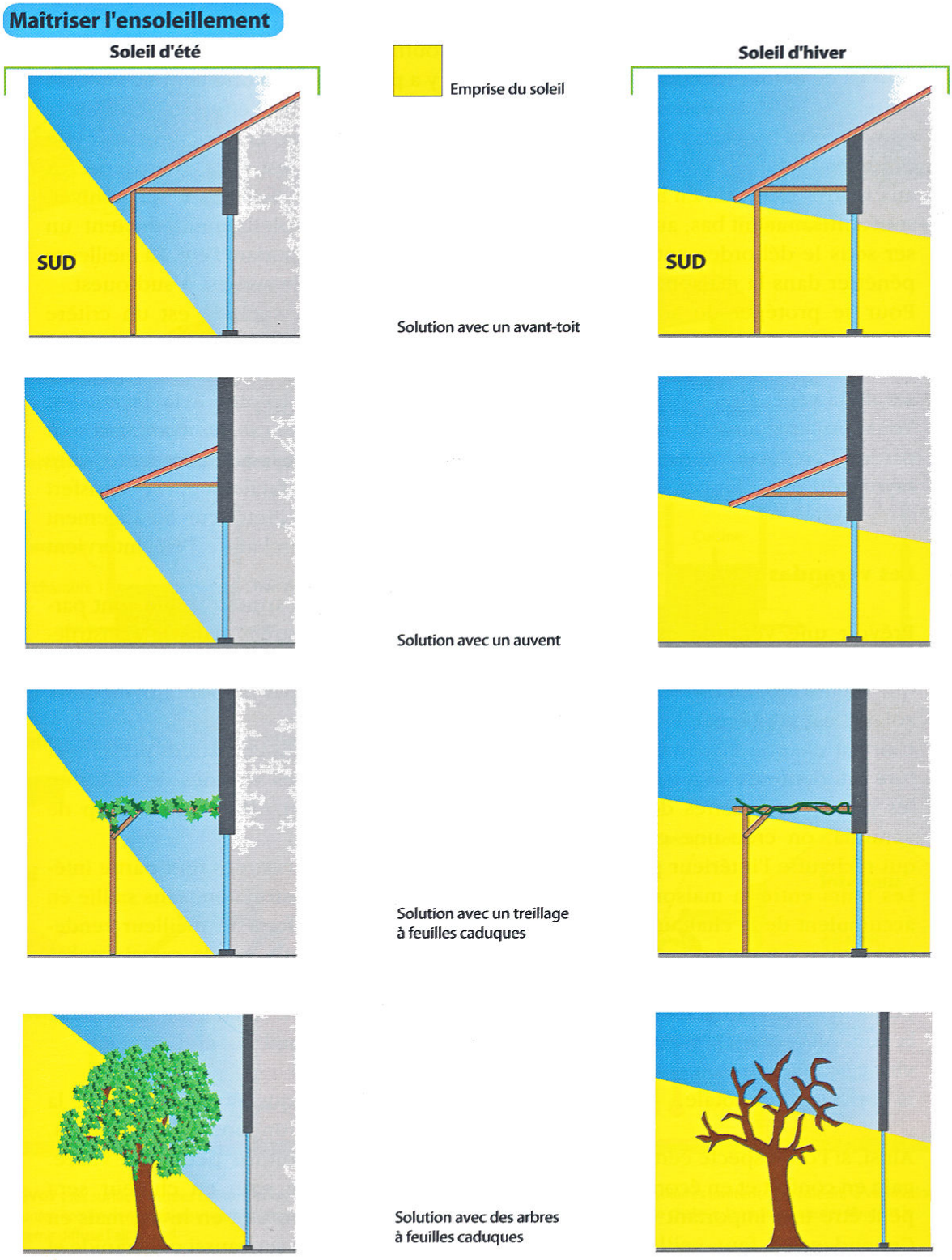


Figure 14 : Maîtriser l'ensoleillement

lement une fonction 3D qui permet de simuler l'ensoleillement selon les saisons et ainsi de définir l'auvent qui convient à votre cas. Ainsi un débordement du toit ou un auvent bien adapté permet de vous protéger du soleil d'été, haut dans le ciel aux heures chaudes. En hiver, les rayons sont suffisamment bas, au sud, pour passer sous le débordement ou l'auvent et pénétrer dans la maison.
Pour se protéger du soleil, une autre excellente solution consiste à réaliser des treillages sur lesquels on fait pousser de la végétation à feuilles caduques. Vous formerez ainsi un écran protecteur naturel l'été, mais qui laissera passer les rayons du soleil l'hiver.

Les vérandas

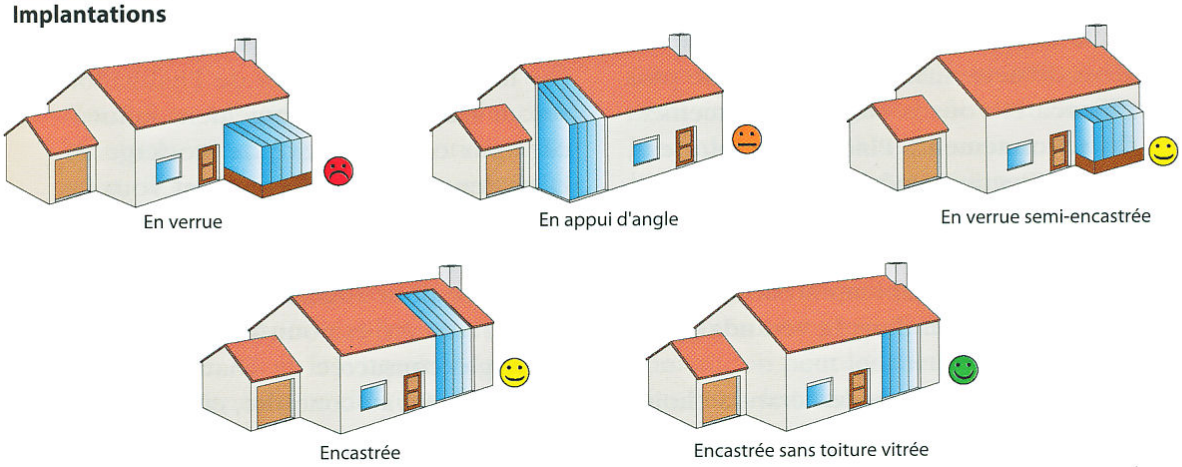
Prévoir une véranda est un excellent choix adapté à la conception bioclimatique (figure 15). En hiver, le rayonnement solaire est capté par la surface vitrée. L'air est chauffé et dépasse la température intérieure du logement. En ouvrant les portes ou fenêtres donnant dans la véranda, on crée une circulation d'air qui réchauffe l'intérieur par convection. Les murs entre la maison et la véranda accumulent de la chaleur, restituée lorsque qu'il n'y a plus de soleil. En été, les ouvertures entre la véranda et l'extérieur permettent son rafraîchissement pendant la nuit. À cet effet, la partie ouvrante des vitrages doit représenter de 20 à 30 % de la surface vitrée totale.

Ainsi, si l'on respecte certaines règles, le gain en confort et en économie d'énergie peut être très important (jusqu'à 30 %). Cependant, il faut veiller à éviter les erreurs d'implantation ou de conception afin de ne pas se retrouver avec une véranda glacière en hiver ou une étuve étouffante l'été.
Il y a peu d'intérêt à orienter une véranda au nord, si ce n'est l'effet tampon qu'elle pourrait procurer. Les orientations plein ouest ou plein est sont à proscrire. À l'est, l'apport de chaleur est nul en hiver. À l'ouest, l'ensoleillement devient un inconvénient important l'été. La meilleure orientation va de sud-est à sud-ouest.
La forme de la véranda est un critère important à considérer. Le type le plus courant est dit en verrue, c'est-à-dire que la véranda est accolée à la façade du bâtiment. Dans ce cas, les avantages sont minimes puisque le rayonnement solaire entre et ressort facilement. Le transfert de chaleur vers l'intérieur du logement est limité. La surchauffe l'été intervient rapidement.
Les vérandas en appui d'angle sont partiellement encastrées dans la construction. Les apports solaires sont mieux pris en compte par rapport aux modèles en verrue.
Les vérandas semi-encastrées présentent des performances voisines de celles en appui d'angle et offrent un champ de vision élargi.
Les vérandas encastrées font partie intégrante de la construction, sans saillie en façade. Elles offrent le meilleur rendement énergétique, car la quasi-totalité du rayonnement capté est diffusée dans la maison grâce à la grande surface d'échange disponible.

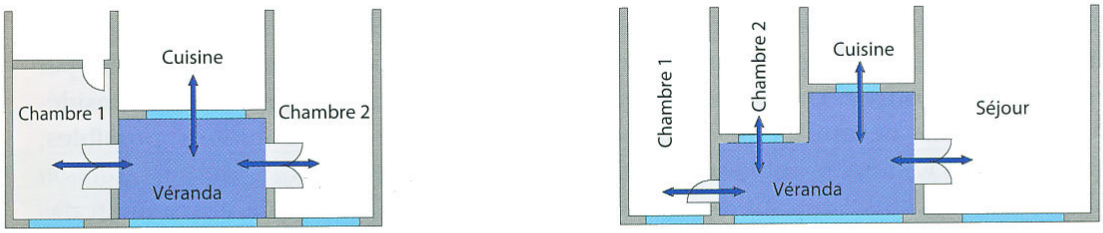
Une toiture opaque isolée représente la meilleure solution pour une véranda. Cependant la toiture peut être vitrée. Dans ce cas, le gain en chaleur sera encore plus important en hiver, mais en été la surchauffe sera aussi plus rapide et il sera difficile de maintenir une température confortable. Prévoyez un système

Les vérandas

Implantations

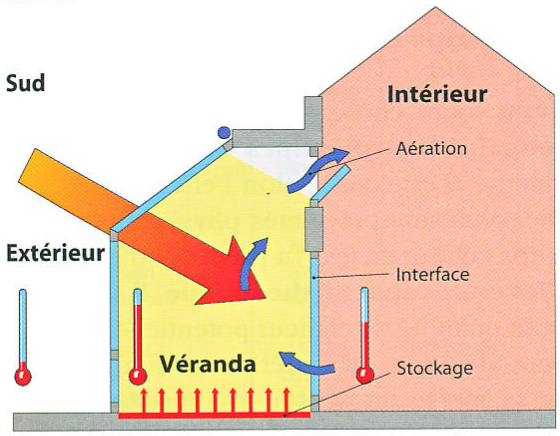


Exemples de distribution des pièces pour profiter des apports de la véranda



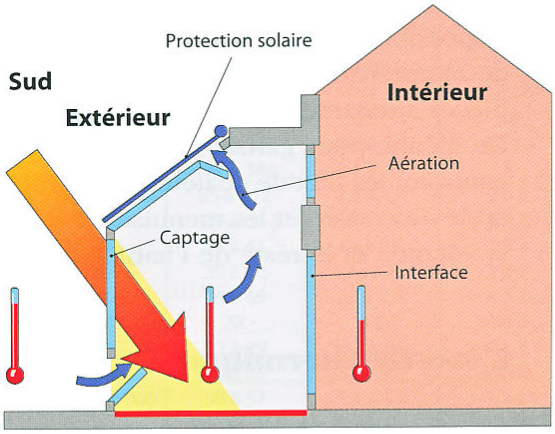
Comportement en été et en hiver

Hiver



Hiver : les surfaces vitrées captent le rayonnement, les parois lourdes accumulent puis restituent la chaleur, la ventilation interne diffuse l'air chaud.

Été



Été : les protections solaires limitent l'exposition, la ventilation évite l'accumulation de chaleur, les parois lourdes limitent la surchauffe.

Figure 15 : Les vérandas

d'occultation solaire. Attention, quel que soit le système choisi, il est préférable de le placer à l'extérieur de la véranda. C'est de cette manière qu'il sera le plus efficace et vous protégera efficacement du rayonnement. Placé côté intérieur, une protection, même très occultante, est beaucoup moins performante, car elle n'empêche pas l'effet de serre qui se produit inévitablement dès que les rayons pénètrent dans la véranda.

Quel que soit le type de véranda choisi, la surface vitrée doit être importante (au moins 20 m^2). Pour lui permettre de réchauffer efficacement le logement en hiver, prévoyez-la haute, si possible sur deux niveaux. Le sol et les parois doivent être réalisés avec des matériaux lourds et de couleur foncée. Une véranda bien conçue n'a pas besoin d'être chauffée, même en hiver, en effet, cela peut entraîner de la condensation sur les vitres. Côté extérieur, choisissez un double vitrage. Pour la séparation avec les pièces intérieures, il est recommandé de poser des simples vitrages. Pour profiter de la conductivité thermique, réalisez si possible un sol de même niveau et de même nature entre la véranda et les pièces attenantes.
De même, pour garder la possibilité de contrôler les flux de chaleur, il est préférable de conserver les menuiseries entre la véranda et le reste de l'habitation.

L'inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à emmagasiner et à restituer de la chaleur ou de la fraîcheur. La conception bioclimatique doit inciter le constructeur à mettre à profit cette caractéristique physique. Lorsqu'il s'agit d'isolation, l'inertie thermique peut être l'alliée ou l'ennemie du confort et de la consommation d'énergie. Les performances thermiques globales de l'habitation seront effectivement largement influencées par cette capacité de stockage de la chaleur et par la façon dont vous en tenez compte au moment de la conception. L'inertie thermique peut s'avérer une alliée pour augmenter le confort en hiver ou en été et pour diminuer la part d'énergie consacrée au chauffage ou à l'isolation. Si, au contraire, elle est ignorée ou mal maîtrisée, elle peut se révéler un ennemi de la facture énergétique en vous procurant des conditions d'habitation dégradées. Tout en consommant beaucoup d'énergie, vous risquez d'avoir froid en hiver et chaud en été. Il est par conséquent important de bien considérer les différentes solutions possibles, surtout dans un projet de construction neuve. Si vous rénovez, il y a aussi des règles que vous pouvez adopter pour mettre de votre côté les bienfaits de l'inertie thermique.

Le principe de l'inertie thermique

Avant toute chose, il est important de connaître les principes caractérisant l'inertie thermique. Selon l'effet recherché, plusieurs propriétés physiques des corps entrent en jeu. La première d'entre elles est la **capacité thermique**. Il s'agit de la quantité de chaleur potentielle que peut absorber un matériau en fonction de sa masse ou de son volume. Généralement, plus le matériau est lourd, plus sa capacité thermique volumique est grande. Par exemple, le béton et la pierre sont des matériaux présentant une masse volumique élevée. Ils ont également une forte capacité à emmagasiner

de la chaleur. Les matériaux ne sont pas tous égaux de ce point de vue, comme le montre la figure 16.

Connaître la capacité thermique d'un matériau n'est pas le seul critère. En effet, il est intéressant de savoir également comment la chaleur est stockée et à quelle vitesse. C'est pourquoi, pour définir l'inertie thermique, on tient compte d'une autre propriété physique qui est l'**effusivité**. C'est la vitesse à laquelle varie la température de superficie d'un matériau. Plus cette valeur est grande pour une paroi, plus elle se réchauffe ou se refroidit rapidement. Par exemple, en hiver, cela peut entraîner la sensation de mur froid. Si l'on pose la main sur un matériau à forte effusivité, comme un métal, il paraît froid puisqu'il absorbe rapidement la chaleur de la peau.

Dans le même ordre d'idée, la **diffusivité** nous indique la vitesse de diffusion de la chaleur non plus en surface mais à l'intérieur même du matériau. Plus elle est élevée, plus le matériau s'échauffe ou se refroidi rapidement en son cœur.
L'inertie thermique est la combinaison de toutes ces propriétés. Lorsqu'on les connaît, on peut les mettre à profit pour jouer sur les températures à l'intérieur d'un bâtiment. En effet, on comprend que l'inertie va entraîner un effet retard ou un déphasage entre la variation de la température intérieure et extérieure. Prenons une paroi lourde non isolée. S'il fait froid à l'extérieur, il faudra un certain

Les propriétés thermiques des matériaux de construction

Matériaux	Masse volumique ρ (kg/m³)	Conductivité thermique λ (W/m.K)	Capacité thermique volumique S (kJ/m³.°C)	Capacité thermique massique (J/kg.°C)	Effusivité thermique spécifique (J/m².s.°C)	Diffusivité thermique (x10⁻⁷ m²/s)	Résistance à la vapeur d'eau (μ)
Acier	7 870	52	1 350	465	14 000	138	-
Aluminium	2 700	204	2 511	896	24 000	916	-
Béton	2 300	1,75	2 160	878	1 945	8	70 à 150
Béton cellulaire	400 à 800	0,10 à 0,22	352 à 700	1 000	278 à 394	6,2 à 3,1	5 à 10
Bois léger (résineux)	400	0,12	960	878	339	1,25	50 à 100
Bois lourd	800	0,23	2160	2 400	705	1,06	-
Bois panneaux	400 à 600	0,12 à 0,15	1 380	3 000	440	1	50 à 400
Brique terre cuite pleine	1 900	1,15	1634	2 700	1 370	7	40
Brique terre cuite creuse	700 à 1 000	0,35	630 à 900	-	470 à 560	5,6 à 3,9	5 à 10
Brique monomur (37 cm)	700 à 800	0,15	700 à 800	-	324 à 346	2,1 à 1,9	5
Fibres de bois	50 à 150	0,039 à 0,040	105 à 315	2 000 à 2 100	65 à 112	3,8 à 1,3	2 à 5
Laine de cellulose	35 à 90	0,039 à 0,040	120 à 180	2 000	69 à 85	3,3 à 2,22	1 à 2
Laine de chanvre	25 à 35	0,04	30 à 42	1 300	35 à 41	13 à 9,5	1 à 2
Laine de coton	20 à 30	0,04 à 0,06	38 à 57	1 300	39 à 48	10 à 7	1 à 2
Laine de mouton	10 à 30	0,04	17 à 52	800	26 à 45	23 à 7,8	1 à 2
Laine de roche	40	0,04	33	880	37	12	1 à 2
Laine de verre	15 à 25	0,03 à 0,04	13 à 21	880	22 à 29	32 à 19	1 à 2
Liège expansé	80 à 120	0,03 à 0,04	140 à 210	2 100	70 à 86	2,5 à 1,7	5 à 30
Ouate de cellulose	35 à 45	0,037	68 à 87	1 600 à 1 800	50 à 57	5,4 à 4,2	1 à 2
Parpaing aggloméré	500 à 1 400	0,3 à 0,9	450 à 1 260	-	367 à 1 065	6,7 à 7,1	5 à 15
Pierre calcaire	2 450	2,4	1 760	879 à 882	2 058	14	-
Pierre lourde (granit...)	2 600	3	1 820	881	2 337	16	-
Polystyrène	20 à 30	0,03 à 0,04	27 à 41	1 300	29 à 38	11 à 8,5	20 à 300

Figure 16 : Les propriétés thermiques des matériaux de construction

temps pour que la paroi absorbe du froid, le stocke et le restitue à l'intérieur. Inversement, si l'on chauffe l'intérieur, il faudra un délai avant que la paroi absorbe la chaleur émise dans la pièce et devienne chaude à son tour. On comprend alors que cette propriété physique des corps a une influence importante à l'échelle d'une habitation, notamment en fonction des matériaux utilisés. Si l'on décide d'isoler cette paroi, son inertie thermique offre des possibilités intéressantes dès lors que l'on respecte ses principes et qu'on les utilise à bon escient.

Prenons un autre exemple pour illustrer le déphasage (figure 17), un bâtiment avec des murs légers et non isolés comme un abri de jardin en tôles. Plaçons un thermomètre à l'intérieur et un autre à l'extérieur et notons les courbes de température. On constate que la courbe intérieure évolue quasi simultanément avec celle de la température extérieure. Du fait de la légèreté du matériau constituant les parois, de sa faible épaisseur et de sa grande effusivité, le froid, ou la chaleur extérieure pénètre immédiatement à l'intérieur. Les températures extérieure et intérieure sont égales pratiquement à tout instant. L'inertie est quasiment inexistante. Toute l'énergie consommée pour réchauffer ou refroidir le local serait immédiatement dissipée.

Pour avoir une température plus douce à l'intérieur de l'abri, on décide d'installer des panneaux d'isolant thermique. Que constate-t-on alors ? La variation de température intérieure suit l'évolution de la température extérieure, mais cette fois-ci avec une amplitude moindre. La variation se produit à la même vitesse, cependant les températures extérieure et intérieure sont différentes de quelques degrés. L'écart de température est rendu possible grâce à l'isolation.
Si en plus, on pouvait construire de lourds murs en béton en remplacement des tôles, que se produirait-il dans l'abri de jardin ? Son inertie thermique augmenterait considérablement, entraînant un déphasage. Tout au long de la journée et de la nuit, la température intérieure serait influencée par la température extérieure mais seulement après plusieurs heures, à cause de l'inertie des parois.
En ajoutant aux murs lourds une isolation thermique par l'extérieur, notre abri de jardin pourrait combiner et mettre à profit les deux avantages de l'abaissement de l'amplitude de température, grâce à l'isolant, et du déphasage, grâce à l'inertie du matériau constituant les murs. La température extérieure parviendrait donc diminuée jusqu'à l'intérieur, seulement après plusieurs heures.
En été, une bonne inertie peut permettre d'absorber et de répartir les pointes de chaleur pour les rendre plus acceptables. La climatisation n'est pas indispensable. Cependant, il convient de bien gérer la protection solaire afin de limiter les apports le jour. La nuit, la ventilation doit être performante afin d'évacuer la chaleur et de stocker un maximum de fraîcheur qui, grâce au déphasage, sera diffusée à l'intérieur du logement pendant la journée. La période de déphasage optimale est de 12 à 13 heures.

Le déphasage est utile pour le confort d'été, grâce au décalage de temps qu'il permet entre l'évolution de la source de température et son effet de l'autre côté de la paroi. La figure 18 montre ce décalage et la manière dont la chaleur évolue au sein d'une paroi en béton cellulaire selon les heures d'une journée d'été. On peut constater également qu'une paroi légère

L'amplitude et le déphasage thermiques

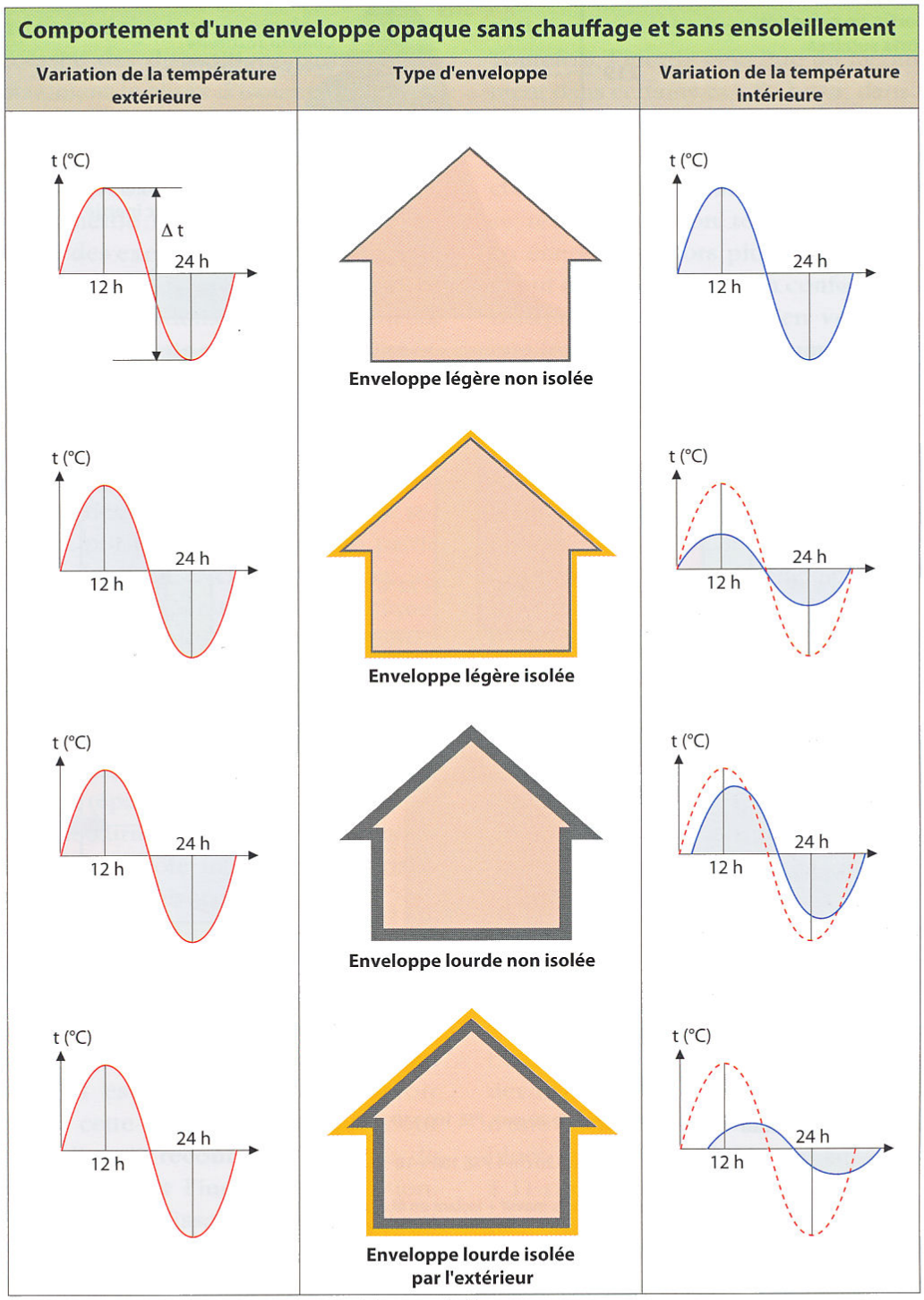
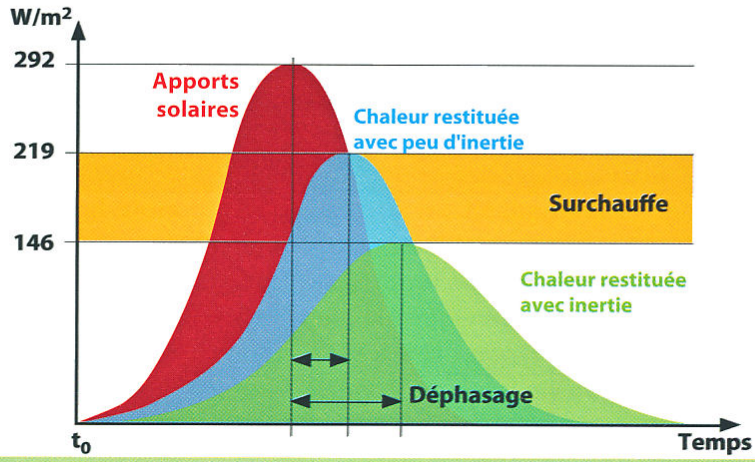


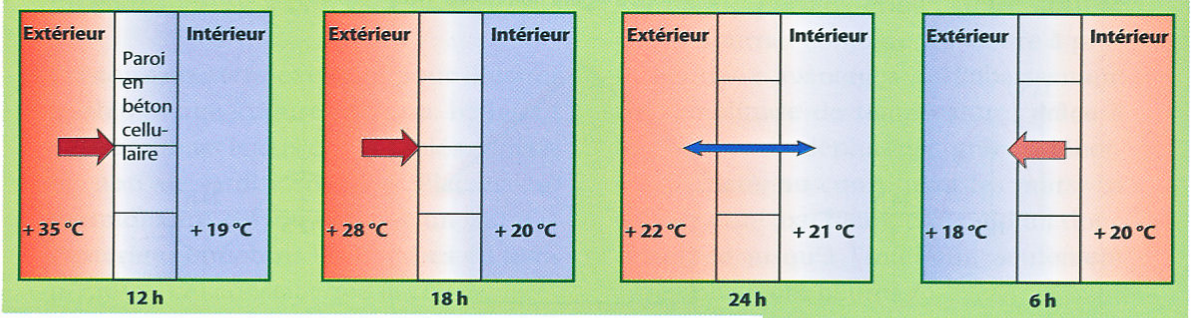
Figure 17 : L'amplitude et le déphasage thermiques

Inertie et confort d'été

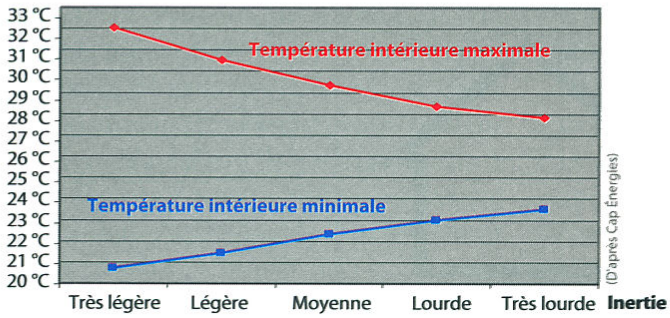
Réaction d'un local selon son inertie en présence d'apports solaires



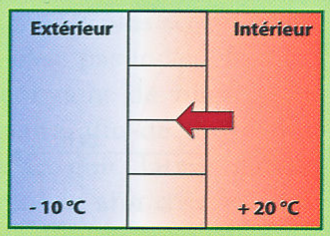
Principe de l'inertie thermique en saison chaude (monomur béton cellulaire) (D'après Xella)



Effet de l'inertie sur le confort d'été



Confort d'hiver



Retard en heures de différents systèmes constructifs de maisons individuelles

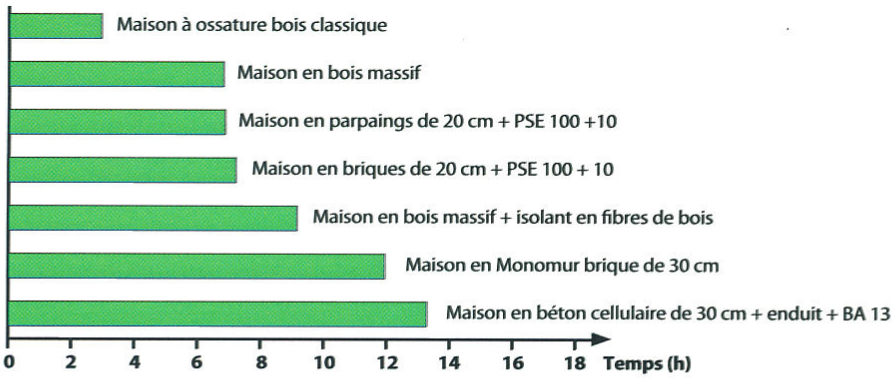


Figure 18 : L'inertie thermique et le confort d'été

en bois, bien que naturellement isolante, présente une faible inertie, ce qui est un inconvénient en période estivale et nécessite des dispositions particulières, notamment le choix d'isolants disposant d'une bonne inertie thermique.

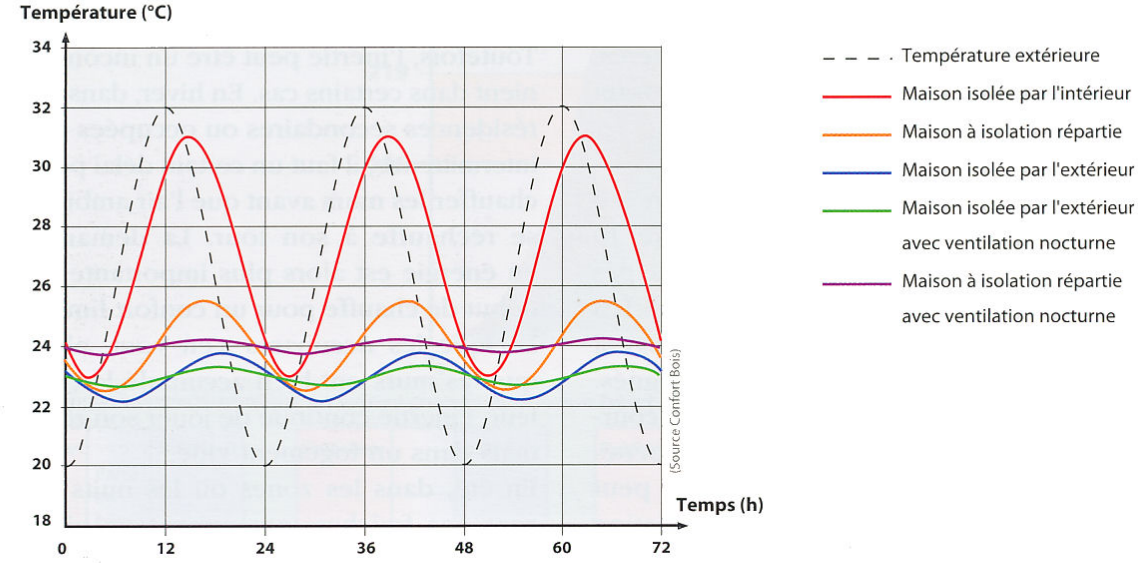
De nombreux facteurs entrent en jeu dans l'inertie thermique. La figure 19 montre des exemples selon les principes constructifs et les matériaux choisis. Les différentes solutions possibles peuvent avoir des résultats parfois très éloignés. Sur le premier graphique, plus les courbes sont aplaties, plus l'inertie est bénéfique au confort thermique. On peut constater, par exemple, que l'isolation par l'intérieur a un effet peu sensible sur l'inertie, puisqu'elle en annule en partie ses bienfaits. En effet, dans ce cas, les courbes de température sont pratiquement superposables, ce qui signifie qu'il n'y a pratiquement pas de déphasage. La courbe la plus plate, par conséquent synonyme du meilleur confort d'été, est celle correspondant à une construction à isolation répartie (monomur) avec ventilation nocturne. Dans ce cas, la chaleur parvenue du côté intérieur de la paroi est rapidement évacuée.

En hiver, il existe de nombreuses sources gratuites ou récupérables de chaleur pour l'habitation, dues aux appareils électroménagers, aux occupants et au soleil. Il est intéressant de pouvoir stocker cette énergie calorifique pour éviter d'avoir recours au système de chauffage. C'est l'inertie d'absorption. De plus, la puissance de chauffage appelée est d'autant moins grande que le déphasage est important. Lorsqu'un pic de froid survient, il n'est pas répercuté immédiatement dans le logement, donc le thermostat du système de chauffage ne se déclenche pas dans la foulée. Les déclenchements du thermostat sont plus réguliers et étalés dans le temps.
Toutefois, l'inertie peut être un inconvénient dans certains cas. En hiver, dans les résidences secondaires ou occupées par intermittence, il faut un certain délai pour chauffer les murs avant que l'air ambiant se réchauffe à son tour. La demande en énergie est alors plus importante en début de chauffe pour un confort limité. Lorsque les occupants s'en vont, alors que les murs ont bien accumulé la chaleur, l'inertie continue de jouer son rôle, mais dans un logement vide.
En été, dans les zones où les nuits ne sont pas fraîches, notamment en ville, la chaleur accumulée le jour se dissipe difficilement la nuit. Si les journées chaudes se succèdent en période de canicule, les infrastructures et le bitume des rues n'ont pas le temps de se décharger, la nuit, de la chaleur accumulée. Il est donc très important dans ce cas de limiter les apports solaires et de surventiler encore plus la nuit.
En conclusion, une inertie satisfaisante doit combiner trois caractéristiques : une forte capacité thermique (murs et planchers lourds en contact avec l'air intérieur), une conductivité élevée et une grande surface d'échange. Pour ce faire, optez pour une isolation par l'extérieur avec une structure et des planchers en béton. Pour les murs, l'effet d'inertie devient sensible avec des blocs pleins d'une épaisseur minimale de 7 cm ou des blocs creux d'une épaisseur supérieure à 11 cm (figure 20).

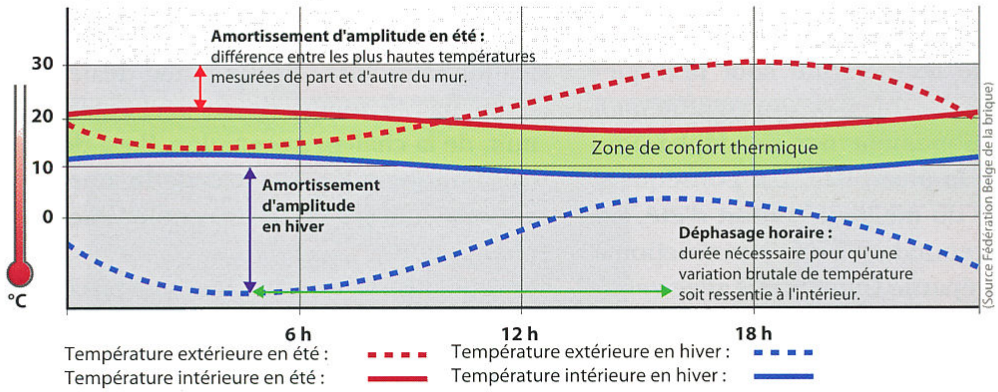
Les constructions en monomur, en béton cellulaire ou en terre cuite, d'une épaisseur supérieure ou égale à 30 cm offrent également d'excellentes performances en termes d'inertie thermique.

Exemples d'inerties thermiques

Variations des températures intérieures d'été selon le type constructif



Exemple d'inertie thermique d'un mur double avec coulisse isolée



Exemple de variation de la demande de chauffage par hiver froid selon l'inertie

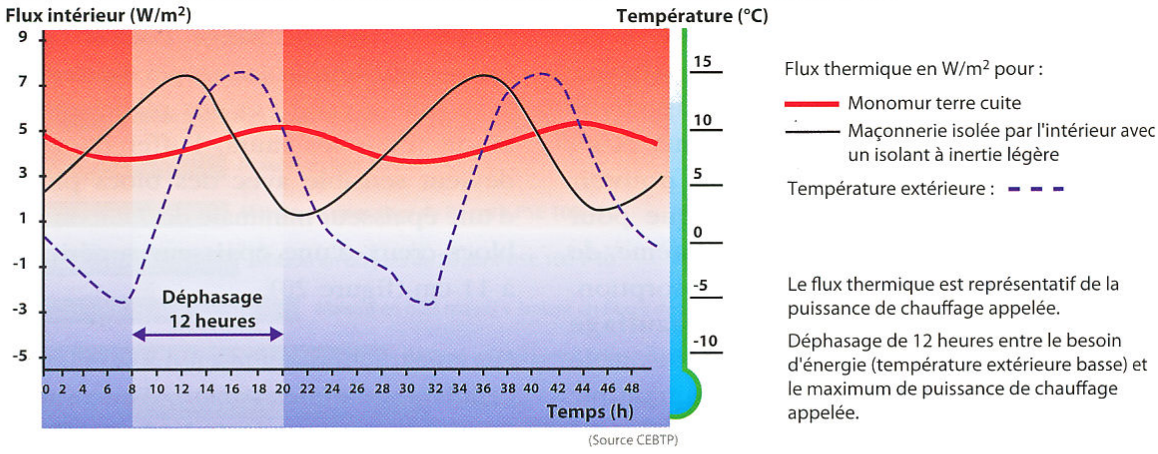
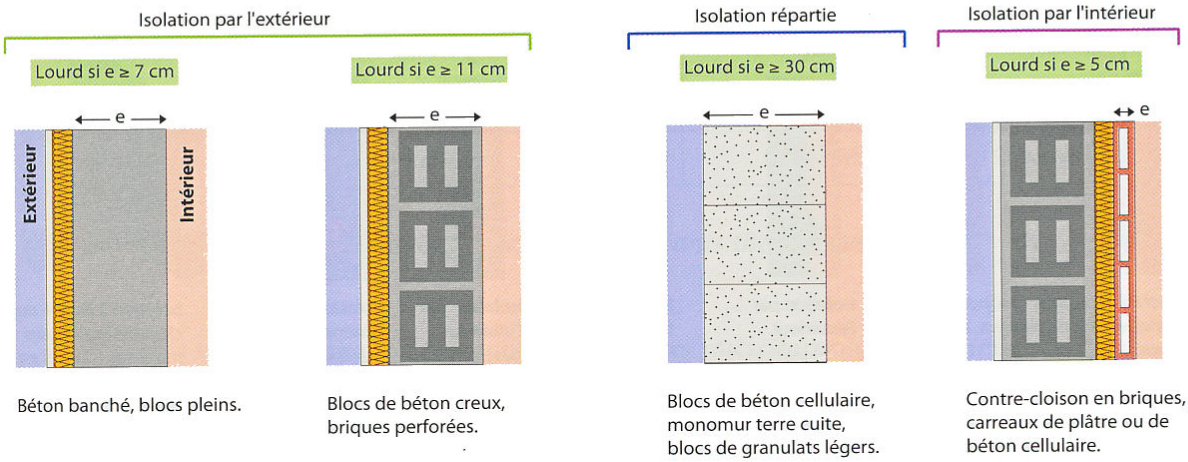


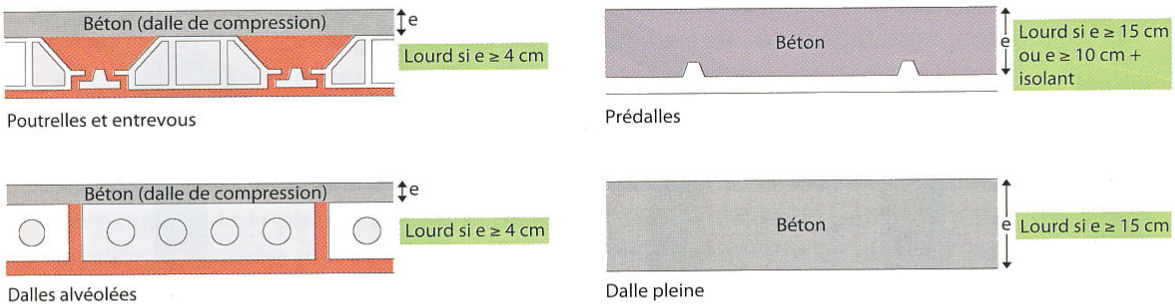
Figure 19 : Exemples d'inertie thermique

Exemples de parois lourdes à forte inertie (D'après Cimbéton)

Murs



Planchers



Exemples d'inerties

Inertie très faible (A)	Inertie faible (B)	Inertie moyenne (C)	Inertie forte (D)
Plancher bois sur isolant Plafond léger (plaque de plâtre et isolant) Murs isolés par l'intérieur (isolant et plaque de plâtre) Murs à ossature bois Cloisons légères	Idem que A avec cloisons en carreaux de plâtre	Idem que B avec plancher lourd (10 cm de béton sur isolant)	Plancher en béton Murs lourds isolés par l'extérieur Monomurs d'épaisseur supérieure à 30 cm Cloisons lourdes Pladond lourd (toiture-terrasse)

Figure 20 : Exemples de parois lourdes à forte inertie

L'amélioration de l'inertie thermique

Comme indiqué, l'isolation par l'intérieur annule les effets bénéfiques de l'inertie. Dans ce cas, on peut recourir à des contre-cloisons en briques, en carreaux de plâtre ou en béton cellulaire d'une épaisseur minimale de 5 cm. Les éléments de construction intérieurs jouent également un rôle important dans l'inertie d'absorption du fait de leur superficie d'échange importante (deux faces pour

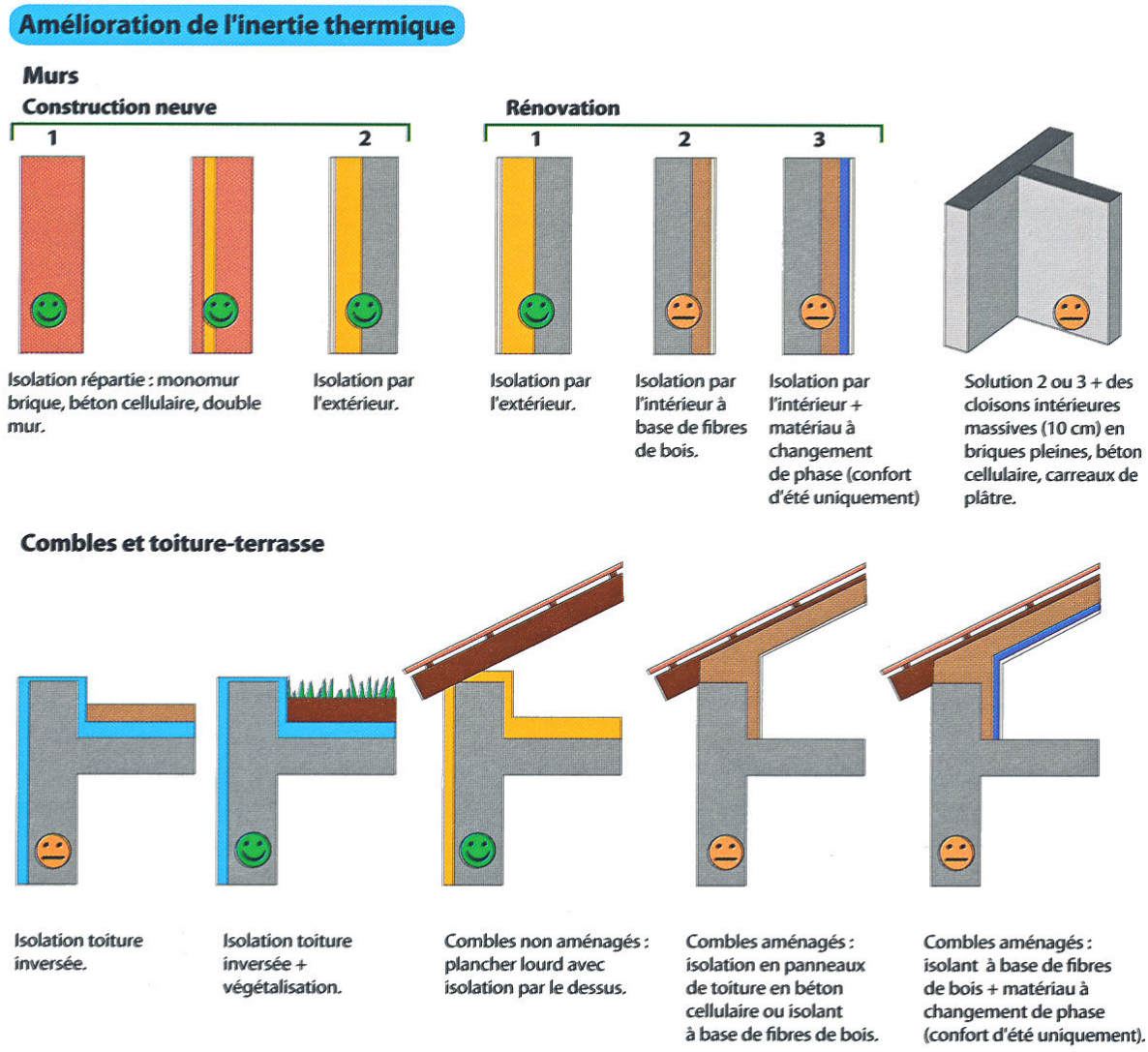


Figure 21 : L'amélioration de l'inertie thermique

une cloison ou un mur de refend au lieu d'une seule face pour un mur extérieur). Il est donc possible d'améliorer l'inertie grâce aux cloisons, aux murs de refend et aux planchers en choisissant des matériaux lourds (figure 21).

Dans les combles aménageables, il est difficile d'utiliser des matériaux lourds. À cet endroit, le principal matériau mis en œuvre est l'isolant, or dans ce domaine, les performances peuvent varier de façon importante (figure 22). Pour obtenir une bonne inertie dans les combles, le choix de la laine de verre est peu recommandé puisque son déphasage ne dépasse pas 6 heures. La cellulose et les fibres de bois permettent d'atteindre un déphasage de 12 à 15 heures. Les plumes de canard, grâce à leur structure tubulaire, offrent également une bonne inertie. Ces derniers isolants sont appréciés aussi pour

Inertie des isolants thermiques				
Type	**Conductivité thermique**	**Densité**	**Capacité d'accumulation**	**Déphasage**
Laine de verre	0,04 W/m.K	20 kg/m³	4 Wh/m³.K	6 heures
Cellulose	0,04 W/m.K	55 kg/m³	33 Wh/m³.K	12 heures
Fibres de bois	0,04 W/m.K	160 kg/m³	80 Wh/m³.K	15 heures

Figure 22 : L'inertie des isolants thermiques

les parois verticales chaque fois qu'il est nécessaire d'améliorer l'inertie thermique, par exemple dans les constructions bois.

Dans une construction existante déjà isolée, il est également possible d'améliorer l'inertie thermique. En optant pour des matériaux à changement de phase (MCP), l'inertie de votre habitation sera sensiblement augmentée (figure 23).

Le principe des MCP est simple : lorsqu'un corps passe de la phase solide à la phase liquide, il absorbe une certaine quantité de chaleur. Lors du cycle inverse, c'est-à-dire lorsqu'il passe de l'état solide à l'état liquide, il dégage de la chaleur.

Chaque élément a une température de fusion propre et subit ce phénomène à des températures diverses. L'eau se solidifie à 0 °C. D'autres matières deviennent solides à des températures très différentes. En employant des matériaux à faible température de fusion, comme les paraffines, on peut utiliser cette propriété pour améliorer l'inertie thermique. Certains fabricants proposent des plaques de plâtre ou des enduits intégrant des microcapsules d'une paraffine dont la température de fusion est comprise entre 21 et 26 °C. Ainsi, en été, lors des journées chaudes, ces éléments de construction en MCP accumulent de la chaleur. La paraffine contenue dans leurs microcapsules se liquéfie, ce qui a pour effet de refroidir la pièce. La nuit, lorsque l'air devient plus frais grâce à la ventilation, le contenu des microcapsules se solidifie en restituant la chaleur accumulée. Ainsi, sans consommation d'énergie ni installation complexe, la température est écrêtée jusqu'à 7 °C. Il n'y a plus besoin de climatisation, l'environnement est respecté et le confort est amélioré pour les habitants. En hiver aussi, les MCP peuvent jouer un rôle important. En les plaçant aux endroits appropriés de l'habitation, notamment dans les parties ensoleillées, ils peuvent être mis à profit pour stocker les apports diurnes qui seront restitués la nuit.

La réglementation thermique

Depuis 1974, la réglementation thermique sert à fixer les règles à respecter dans les constructions neuves en matière d'isolation afin de réduire la consommation globale d'énergie. La réglementation évolue tous les cinq ans, environ. Elle a pour but de restreindre progressivement l'énergie de chauffage et les émissions de gaz à effet de serre en prenant en compte les intérêts des divers acteurs des marchés concernés. Elle intègre au cours de son évolution la normalisation européenne. La réglementation en vigueur, reprise par

Principe des matériaux à changement de phase (MCP)

Équivalence des performances d'inertie thermique des MCP

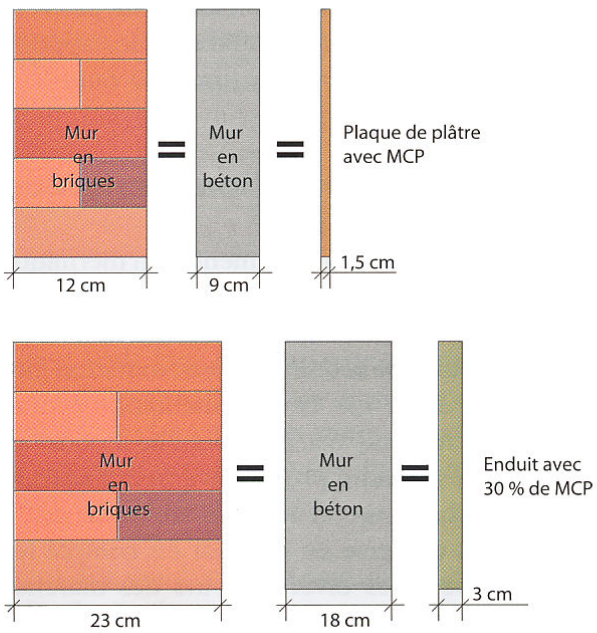


Figure 23 : Le principe des matériaux à changement de phase

le discours commercial, ne correspond pas à la pointe de la performance énergétique que l'on est capable de mettre en œuvre aujourd'hui, contrairement à ce qui se fait, notamment, en Europe septentrionale. Les limites prévues par la réglementation impliquent des calculs thermiques complexes des futurs bâtiments en prenant en compte différents facteurs (isolation, déperditions, appareils domestiques...). Elles constituent une base légale minimale pour déterminer les performances des logements, notamment pour le DPE (diagnostic de performances énergétiques) nécessaire lors de la vente ou de la location.

Pour être conforme à la réglementation thermique, un bâtiment neuf doit répondre à plusieurs critères. La consommation annuelle prévisionnelle d'énergie ($C_{bât}$) doit être inférieure à une consommation de référence établie par la norme (C_{ref}). Elle est exprimée en kilowattheures d'énergie primaire par mètre carré de SHON (surface hors œuvre nette) pour une année (kWh/m²/an). Outre la consommation énergétique, le deuxième facteur considéré est l'isolation thermique. Des performances minimales doivent être respectées selon le type de paroi et la zone climatique. Des valeurs garde-fous sont fixées par la norme concernant les déperditions thermiques.
L'ensemble de ces déperditions pour l'enveloppe du bâtiment ($U_{bât}$), doit être inférieur aux déperditions de référence ($U_{bât}$ réf) (figure 24) calculées lors de l'étude thermique. Une majoration de 20 % est admise pour les maisons individuelles. De même, les ponts thermiques et la perméabilité à l'air de l'habitation ne doivent pas dépasser certains seuils précisés par la norme.

Le dernier critère a pour but de limiter la consommation d'énergie due à la climatisation. Il concerne la température intérieure d'été (T_{ic}), qui doit être inférieure à la température de référence (T_{ic} réf).

Autant que faire se peut, il ne faut pas hésiter à aller au-delà des performances exigées par la réglementation thermique, puisque celle-ci évolue sans cesse et vise comme objectif d'atteindre un niveau équivalent à celui de la maison passive. Dans votre projet, vous n'avez pas forcément besoin de respecter la progressivité de la réglementation qui est destinée plutôt aux professionnels de la construction et à ménager les distributeurs d'énergie. Si votre budget le permet, optez d'emblée pour des solutions réellement efficaces d'un point de vue énergétique. Vous respecterez d'office la réglementation thermique en vigueur et vous vous épargnerez ainsi de fastidieux calculs.
Auparavant, la réglementation thermique ne concernait que les bâtiments neufs. Désormais, des règles s'appliquent aussi aux plus de 30 millions de logements existants. Une distinction est opérée selon le type de bâtiments. Pour ceux dont la surface SHON dépasse 1 000 m², il existe, en cas de travaux importants, des exigences proches de la réglementation thermique applicable aux constructions neuves.

Pour les maisons individuelles ou les appartements, en cas de travaux d'isolation ou de remplacement de l'isolation existante, la réglementation prévoit des résistances thermiques pour chaque type de paroi (figures 25 et 26). Le choix d'effectuer des travaux d'isolation reste à la discrétion du maître d'ouvrage, ce qui signifie, en pratique qu'il n'y a aucune obligation.

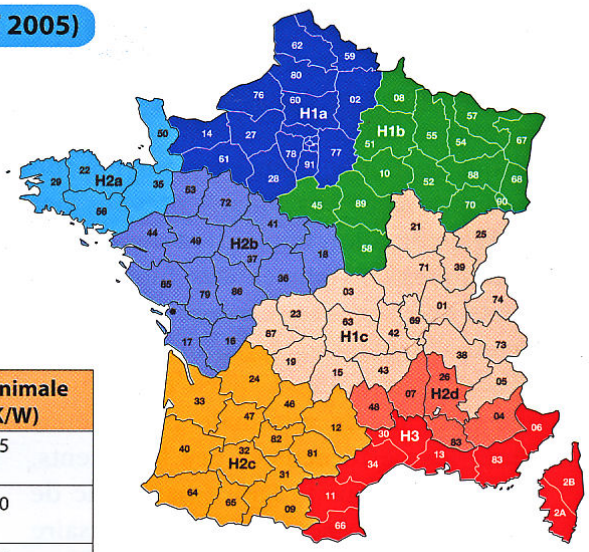
Exigences de la réglementation thermique (RT 2005)

Les zones climatiques

Zone H1 : H1a H1b H1c

Zone H2 : H2a H2b H2c H2d

Zone H3 :



Les coefficients de transmission thermique U

Les valeurs maximales (garde-fous)

Parois	U_{paroi} maximale (W/m².K)	R_{paroi} minimale (m².K/W)
Murs en contact avec l'extérieur ou avec le sol	0,45	2,05
Plancher haut en béton ou en maçonnerie	0,34	2,80
Autres planchers hauts (combles, rampants…)	0,28	3,45
Plancher bas sur vide sanitaire	0,40	2,15
Plancher bas sur local non chauffé	0,40	2,15
Plancher bas donnant sur l'extérieur	0,36	2,60
Plancher bas donnant sur un parking collectif	0,36	2,50
Plancher bas sur terre-plein	-	1,7 R isolant
Plancher bas sur vide sanitaire	2,60	-

Garde-fou des ponts thermiques	
Type de pont	**Ψ maximal en W/m.K**
Liaison entre deux parois dont l'une au moins est en contact avec l'extérieur	Maison individuelle : 0,65 Immeuble collectif : 1,00

Les valeurs de référence (valeurs à atteindre pour être en conformité avec la RT)

Parois	U_{paroi} (W/m².K) Zones H1, H2 et H3 (> 800 m)	U_{paroi} (W/m².K) Zone H3 (≤ 800 m)
Murs en contact avec l'extérieur	**0,36**	**0,40**
Plancher haut sur extérieur en béton	**0,27**	**0,27**
Autres planchers hauts et toitures	**0,20**	**0,25**
Planchers bas	**0,27**	**0,36**
Fenêtres et portes-fenêtres dans le résidentiel	**2,10**	**2,30**

Ponts thermiques	Ψ en W/m.K (zones H1, H2 et H3)
Liaison plancher bas/mur	Maison individuelle : **0,40** Logement collectif : **0,40**
Liaison plancher intermédiaire sous combles/mur	Maison individuelle : **0,55** Logement collectif : **0,60**
Toitures-terrasses/mur	Maison individuelle : **0,50** Logement collectif : **0,60**

Perméabilité à l'air ($m^3/h.m^2$ sous 4 Pa)	
Perméabilté par défaut	Maison individuelle : **1,3** Immeuble collectif : **1,7**
Perméabilté de référence	Maison individuelle : **0,8** Immeuble collectif : **1,2**

Figure 24 : Les exigences de la réglementation thermique

Performances thermiques requises dans l'habitat existant

Parois opaques

Résistances thermiques minimales des parois (R en m².K/W)					
Type de paroi	RT bâtiments existants (arrêté du 3 mai 2007)		Label Promotelec habitat existant		Label Promotelec rénovaion énergétique
	Zones H1 et H2	Zone H3 < 800 m	Zones H1 et H2	Zone H3 < 800 m	
Murs en contact avec l'extérieur et rampants de toiture de pente supérieure à 60	**2,3**	**2***	**2,3**	**2**	**2,8**
Murs en contact avec un volume non chauffé	**2**	**2**	**2,5**	**2,5**	-
Toitures-terrasses	**2,5**	**2,5**	**3,5**	**2**	**3**
Planchers de combles perdus	**4,5**	**4,5**	**4,5**	**4,5**	**5**
Rampants de toiture de pente inférieure à 60	**4**	**4**	**4,5**	**4**	
Planchers bas donnant sur l'extérieur ou un parking collectif	**2,3**	**2**	**2,3**	**2**	**2,8**
Planchers bas donnant sur un vide sanitaire ou un local non chauffé	**2**	**2**	**2**	**2**	**2,8**

* Cette valeur peut être adoptée pour les zones H1 et H2 si l'isolation entraîne une diminution supérieure à 5 % de la surface habitable due à l'épaisseur de l'isolant et uniquement dans le résidentiel.

Parois vitrées

Coefficient de transmission thermique U_W maximal (en W/m².K)				
Type de baie	Arrêté du 3 mai 2007	Label Promotelec habitat existant	Label Promotelec rénovation énergétique	
Ouvrants à menuiserie coulissante	**2,6**	**2,6**	Fenêtre ou porte fenêtre en PVC	**1,4**
			Fenêtre ou porte fenêtre en bois	**1,6**
Autres menuiseries	**2,3**	**2,3**	Fenêtre ou porte fenêtre métallique	**1,8**
			Vitrage de remplacement (faible émissivité)	**1,5**

Résistances thermiques de parois dans l'existant (à prendre en compte pour les calculs)

Mur en briques pleines				
Épaisseur en cm	9 à 15	15 à 22,5	22,5 à 34	> à 34
Valeur de R	**0,09**	**0,16**	**0,23**	**0,33**

Mur en blocs de béton creux		
Épaisseur en cm	20 à 25	> à 25
Valeur de R	**0,19**	**0,22**

Mur double en briques pleines avec vide d'air				
Épaisseur en cm	20 à 25	25 à 30	30 à 35	> à 35
Valeur de R	**0,33**	**0,37**	**0,43**	**0,48**

Mur en blocs de béton pleins ou en béton banché				
Épaisseur en cm	15 à 20	20 à 25	25 à 30	> à 30
Valeur de R	**0,10**	**0,12**	**0,15**	**0,18**

Mur en briques creuses				
Épaisseur en cm	15 à 20	20 à 25	25 à 30	> à 30
Valeur de R	**0,30**	**0,35**	**0,42**	**0,44**

Figure 25 : Les performances thermiques requises dans l'habitat existant

Exemples de valeurs de U de parois de bâtiments anciens

Parois verticales					
Matériaux	**Valeur de U** (W/m².°C)				
Granits, gneiss (épaisseur du mur fini en cm)	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**
Un seul matériau	3,75	3,35	3,00	2,75	2,50
Avec remplissage	-	-	-	2,35	1,95
Pierres calcaires					
Dures un seul matériau	3,5	3,1	2,7	2,45	2,2
Avec remplissage	-	-	-	2,2	1,85
Fermes un seul matériau	2,9	2,4	2,05	1,8	1,6
Avec remplissage	-	-	-	1,75	1,50
Tendres un seul matériau	2,5	2,0	1,65	1,45	1,25
Avec remplissage	-	-	-	1,45	1,3
Très tendres un seul matériau	2,3	1,8	1,5	1,25	1,1
Avec remplissage	-	-	-	1,3	1,15
Grès					
Quartzeux	3,6	3,2	2,85	2,55	2,3
Calcarifères	3,25	2,75	2,4	2,15	1,9
Meulières					
Masse volumique > 1900	3,2	2,7	2,35	2,1	1,85
Masse volumique < 1900	2,35	1,9	1,55	1,3	1,15
Schistes					
Un seul matériau	3,45	3,0	2,6	2,35	2,1
Pierres volcaniques					
Basaltes	3,1	2,6	2,2	1,95	1,75
Laves	2,6	2,1	1,75	1,55	1,35
Murs en pisé					
Avec argile crue	-	-	1,65	1,55	1,35
Murs en pans de bois (cm)	**10**	**13**	**18**	**24**	**32**
Remplissage briques, plâtras	2,85	2,5	2,15	1,8	1,5
Remplissage torchis	2,55	2,2	1,8	1,5	1,2
Murs en briques pleines (cm)	**11,5**	**22,5**	**34**	**45,5**	**55,5**
Murs simples	3,45	2,5	2,0	1,65	1,45
Murs en briques creuses (cm)	**17,5**	**20**	**22,5**	**27,5**	**32,5**
Briques à 3 alvéoles	2,05	2,0	1,85	-	-
Briques à 4 alvéoles	-	1,85	1,75	1,55	-
Briques à 2 x 3 alvéoles	-	-	-	1,8	1,65
Murs en blocs de béton (cm)	**20**	**22,5**	**25**	**27,5**	**30**
Blocs pleins (sable et gravillons)	2,9	2,75	2,6	2,5	2,4
Blocs pleins (mâchefer)	2,25	2,1	1,95	1,85	1,75
Blocs creux 2 alvéoles	2,8	2,65	-	-	-
Blocs creux 4 alvéoles	2,7	2,5	2,3	-	-
Béton caverneux banché	2,9	2,75	2,65	2,5	2,4

Planchers hauts				
Plancher à solives bois	Entraxe solives > 45 cm		Entraxe solives < 45 cm	
	Solive carrée	Solive rect.	Solive carrée	Solive rect.
Plafond en plaques de plâtre	3,5	4,1	3,1	3,8
Plafond en bacula	2,6	3,1	2,4	2,9
Plancher bois sur solives	2,3	2,65	2,1	2,5
Plancher bois et plafond plâtre	1,5	1,65	-	-
Idem + augets de plâtre	1,2			
Idem + remplissage plâtras	1,25			
Plancher à solives métalliques				
Plafond bacula	3,4			
Idem + augets de plâtre	3,0			
Plancher bois sur solives	3,0			
Idem + plafond plâtre et augets	1,65			
Idem + remplissage plâtras	2,3			
Idem + entrevous terre cuite	1,9			
Plancher avec poutrelles béton				
Épaisseur totale (en cm)	**15/18**	**19/22**	**23/26**	**27/30**
Entrevous en béton	3,15	2,95	2,8	2,7
Entrevous en terre cuite	3,1	2,7	2,45	2,3
Plancher en dalle pleine béton				
Béton de granulats lourds	2,75 à 3,25			

Planchers bas		
Plancher à solives bois	Sur s/sol, cave ou vide sanit.	Sur passage ouvert
Plancher bois sur solives	1,75	2,3
Idem + augets de plâtre	0,95	1,1
Idem + remplissage plâtras	1,05	1,2
Plancher à solives métalliques		
Plancher bois sur solives	2,0	2,6
Idem + augets de plâtre	1,2	1,4
Idem + remplissage plâtras	1,7	2,1
Idem + entrevous terre cuite	1,45	1,75
Voutains de briques pleines	2,0	2,6
Plancher à poutrelles en béton		
Entrevous en béton épaisseur du plancher de 15 à 18 cm	2,15	2,9
Plancher de 19 à 22 cm	2,0	2,6
Plancher de 23 à 26 cm	1,75	2,1
Entrevous terre cuite épaisseur du plancher de 15 à 18 cm	2,3	3,15
Plancher de 19 à 22 cm	1,95	2,5
Plancher de 23 à 26 cm	1,8	2,3
Plancher en dalle pleine béton		
Béton plein de granulats lourds	2,15	2,85

Figure 26 : Exemples de valeurs U paroi dans l'ancien

Des organismes comme Promotelec proposent des labels concernant la rénovation (Label Habitat Existant et Label Rénovation Énergétique) et indiquant des valeurs de résistance thermique à atteindre, proches ou supérieures à la norme. Le label « Rénovation Énergétique » permet de certifier la qualité des travaux de rénovation et la performance énergétique. Il se décline en quatre niveaux identifiés par des étoiles, d'une étoile (consommation finale d'énergie supérieure à 210 kWhep/m²/an), à quatre étoiles (consommation inférieure à 100 kWhep/m²/an).
Il prend en compte l'isolation du bâti, les parois vitrées, le système de chauffage et de ventilation, la régulation, la production d'eau chaude sanitaire. Les mesures concernant le bâti sont plus restrictives que le label « Habitat Existant ».
Ce label permet également l'attribution de la mention « Effinergie Rénovation » si les critères suivants sont respectés :
- consommation d'énergie primaire inférieure à 80 kWhep/m² SHON/an ;
- perméabilité à l'air du bâtiment sous une dépression de 4 Pa inférieure à 0,8 m³/h/m² en maison individuelle et 1,3 m³/h/m² en collectif ;
- production locale d'électricité (photovoltaïque, micro-éolien...) déduite des consommations jusqu'à concurrence de 12 kWhep/m²/an ;
- si la SHON dépasse de 20 % la surface habitable, la surface prise en référence pour le label est de 1,2 fois la surface habitable.
La réglementation est destinée à se durcir également à l'avenir dans le parc de logements existants.
Malheureusement, l'impact reste limité dans la pratique. Selon une étude de l'ADEME, 90 % des logements anciens qui font l'objet d'une rénovation présentent des performances thermiques équivalentes à celles qu'ils avaient avant les travaux. L'absence de caractère obligatoire, le manque de formation des entreprises et l'information insuffisante des particuliers expliquent en partie cet état de fait.

Pour calculer la résistance thermique des parois, si vous avez un projet de rénovation, les figures 25 et 26 indiquent les valeurs à prendre en compte en fonction des matériaux les plus courants. Pour connaître la résistance thermique de l'isolant complémentaire nécessaire sur une paroi existante en fonction des performances requises, consultez le tableau de la figure 27. Sur la ligne du haut, repérez le coefficient U de la paroi existante. Selon la résistance thermique de l'isolant choisi, dans la colonne de gauche, vous pouvez lire à l'intersection des deux lignes la valeur du coefficient U de la paroi isolée.

Les labels

Dans les constructions neuves, les prescriptions minimales à respecter sont celles de la réglementation thermique en vigueur. Rien ne vous empêche d'aller au-delà des règles édictées, dans le cadre d'une démarche volontaire, notamment si vous souhaitez œuvrer pour l'environnement ou donner une valeur ajoutée supplémentaire à votre bien. Il existe même des labels destinés à vous aider en ce sens.

Le label Performance

L'association Promotelec dispense le label Performance (figure 28) comprenant cinq

Valeurs de U de parois avant et après isolation

R	U avant isolation																													
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8
0,3	0,77	0,83	0,88	0,94	0,99	1,03	1,08	1,13	1,17	1,21	1,25	1,29	1,33	1,36	1,40	1,43	1,46	1,49	1,52	1,55	1,58	1,61	1,63	1,66	1,68	1,71	1,73	1,75	1,78
0,5	0,67	0,71	0,75	0,79	0,82	0,86	0,89	0,92	0,95	0,97	1,00	1,02	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,23	1,25	1,26	1,27	1,29	1,30	1,31
0,8	0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94
1	0,50	0,52	0,55	0,57	0,58	0,60	0,62	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79
1,1	0,48	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
1,2	0,45	0,47	0,49	0,51	0,52	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68
1,3	0,43	0,45	0,47	0,48	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,55	0,56	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,62	0,63	0,63	0,63	0,64	0,64
1,4	0,42	0,43	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60
1,5	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,58	0,49	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57
1,6	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54
1,7	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,51	0,51
1,8	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,47	0,47	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
1,9	0,34	0,36	0,37	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
2	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
2,1	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
2,2	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41
2,3	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
2,4	0,29	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38
2,5	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
2,6	0,28	0,28	0,29	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
2,7	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34
2,8	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33
2,9	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32
3	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31
3,1	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30
3,2	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
3,3	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
3,4	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
3,5	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27
3,6	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
3,7	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
3,8	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25
3,9	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
4	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
4,5	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
5,5	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
6,5	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

Figure 27 : Valeurs de U paroi avant et après isolation

Labels et réglementation en France		
Labels	**Consommation conventionnelle**	**Conditions**
Réglementation thermique (RT)	Consommation de référence	Exigée pour toutes les constructions neuves.
HPE (haute performance énergétique)	Consommation de référence - 10 %	Consommation énergétique inférieure de 10 % à la consommation de référence définie par la RT en vigueur..
HPE EnR (haute performance énergétique, énergies renouvelables)	Consommation de référence - 10 % + EnR	Exigences du niveau HPE avec au moins 50 % de l'énergie employée pour le chauffage issue d'une installation biomasse ou d'un réseau de chaleur utilisant plus de 60 % d'énergies renouvelables.
THPE (très haute performance énergétique)	Consommation de référence - 20 %	Consommation énergétique inférieure de 20 % à la consommation de référence définie par la RT en vigueur.
THPE EnR (très haute performance énergétique, énergies renouvelables)	Consommation de référence - 30 % + EnR	Consommation énergétique inférieure de 30 % à la consommation de référence définie par la RT en vigueur et avec au moins une des exigences suivantes : - au moins 50 % de la production d'eau chaude sanitaire est assurée par des panneaux solaires et plus de 50 % du chauffage est produit par un générateur utilisant la biomasse ; - au moins 50 % de la production d'eau chaude sanitaire est assurée par des panneaux solaires et plus de 60 % du chauffage est produit par un réseau de chaleur utilisant des énergies renouvelables ; - au moins 50 % de la production d'eau chaude sanitaire et du chauffage est assurée par des panneaux solaires ; - bâtiment équipé d'un système de production d'électricité utilisant les énergies renouvelables, assurant une production annuelle de plus de 25 kWh/m² SHON ; - bâtiment équipé d'une pompe à chaleur répondant à des caractéristiques minimales ; - immeubles collectifs dont la production d'eau chaude est assurée à plus de 50 % par des panneaux solaires.
BBC (bâtiment basse consommation énergétique)	Consommation maximale de 50 kWhep/m²/an	Attribué aux bâtiments de logements neufs consommant entre 40 et 75 kWhep/m²/an, selon la zone climatique et l'altitude .
BBC Effinergie	Consommation maximale de 50 kWhep/m²/an	Mêmes conditions d'attribution que le Label BBC en intégrant un contrôle de la perméabilité à l'air du bâtiment.

Figure 28 : Labels et réglementation en France

niveaux d'exigence. Il porte sur l'isolation thermique et le chauffage. Il met l'accent sur les équipements de gestion du chauffage et de pilotage des installations. Il couvre toutes les énergies, dont les renouvelables.

Le premier niveau, HPE (haute performance énergétique), concerne les constructions dont les consommations énergétiques sont au moins inférieures de 10 % à la consommation de référence.
Le deuxième niveau, HPE Enr (haute

performance énergétique, énergies renouvelables), est attribué aux bâtiments HPE dont au moins 50 % de l'énergie employée pour le chauffage est issue d'une installation biomasse ou d'une alimentation par un réseau de chaleur utilisant plus de 60 % d'énergies renouvelables.
Le troisième niveau, THPE (très haute performance énergétique), est attribué aux constructions dont les consommations énergétiques sont au moins inférieures de 20 % à la consommation de référence.
Le quatrième niveau, THPE Enr (très haute performance énergétique, énergies renouvelables), a pour objectif un gain de 30 % par rapport à la consommation énergétique de référence. Les constructions concernées doivent utiliser des énergies renouvelables, comme le solaire thermique ou photovoltaïque, la biomasse ou les pompes à chaleur.

Le cinquième niveau, BBC (bâtiment basse consommation énergétique), est attribué aux logements neufs consommant moins de 50 kWhep/m²/an. Ce niveau est modulé au moyen de deux coefficients selon la zone climatique et l'altitude du logement. La performance varie donc de 40 à 75 kWhep/m²/an. Le label BBC reprend la plupart des recommandations du label Effinergie.

Le label Effinergie

L'association Collectifs Effinergie a été créée en 2006 pour promouvoir la construction à très basse consommation énergétique en France. L'initiative, issue des régions, regroupe des organisations professionnelles, des organismes financiers, des associations axées sur l'énergétique, des bureaux d'étude et des experts du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment). De nombreux partenaires, entreprises ou collectivités locales, rejoignent l'association régulièrement. Effinergie est inspirée de labels européens existants comme Minergie, en Suisse, ou PassivHaus, en Allemagne et en Autriche. L'objectif affiché du collectif est de définir des niveaux de performances énergétiques, pour les constructions et les rénovations, nettement supérieurs à la réglementation en vigueur. L'accent est porté sur la qualité de l'isolation, de l'étanchéité à l'air et sur la maîtrise du renouvellement d'air quelle que soit l'énergie choisie. Ce label permet, entre autres, une réduction des taxes foncières, une extension du COS (coefficient d'occupation des sols) et un crédit d'impôts pour les équipements en énergies renouvelables.
Le label Effinergie peut également être appliqué à l'existant. Dans ce cas, les

Mieux construire et rénover pour protéger l'environnement
effinergie
Qualité de vie et économie d'énergie

consommations retenues ne doivent pas dépasser 80 kWhep/m²/an.

L'évolution de la réglementation française est appelée à s'accélérer. Cependant, la création du collectif Effinergie ne saurait masquer le retard pris par rapport aux autres labels européens tels que PassivHaus ou Minergie, présentés dans les paragraphes qui suivent.

Le label PassivHaus

PassivHaus a été créé par Wolfgang Feist et Bo Adamson. Ils ont réalisé la première maison passive à Darmstadt, en 1991. Depuis, des milliers de maisons ont été construites selon ce référentiel en Allemagne, en Autriche, en Belgique ou en Suède.

Une maison passive garantit un climat intérieur confortable pour les habitants aussi bien en hiver qu'en été, sans système de chauffage traditionnel ni de climatisation. Le besoin annuel en énergie pour le chauffage ne doit pas dépasser 15 kWh/m²/an (kilowattheures par mètre carré par an), soit un niveau jusqu'à 15 fois inférieur à la consommation des bâtiments existants. Ce standard, très exigeant, est pourtant possible avec un surcoût modéré de construction. Le terme de maison « passive » désigne le fait que la chaleur est reçue principalement par le rayonnement solaire, les appareils ménagers et les habitants eux-mêmes et non pas émise par un appareil de chauffage. L'apport solaire peut couvrir 40 % des pertes de chaleur. Les fenêtres doivent avoir des performances adaptées (triple vitrage, châssis super isolant).
L'orientation est la même que celle indiquée précédemment pour la conception bioclimatique, c'est-à-dire au sud. La surface de vitrage des pièces principales au sud doit représenter de 40 à 50 % de la surface totale. Les vitrages est et ouest ne doivent pas dépasser 20 % et les fenêtres orientées au nord de 10 à 15 % de la totalité des ouvrants.

L'isolation doit être renforcée, c'est-à-dire que l'épaisseur d'isolant doit être comprise entre 20 et 35 cm (figure 29). Aucun pont thermique n'est permis et l'étanchéité à l'air doit être parfaite, autrement dit, les entrées d'air ne doivent pas dépasser 0,6 volume/h. Attention, cela ne signifie aucunement que l'habitation doit devenir un bocal avec un air en circuit fermé. Au contraire, il est primordial d'avoir recours à un système de ventilation adapté et performant. Le but n'est pas d'empêcher l'air d'entrer, mais plutôt de conserver la chaleur (ou la fraîcheur, en été) de l'air intérieur. L'amenée d'air frais est obligatoirement assurée par un système de VMC double flux avec échangeur de chaleur haute performance, afin de récupérer les calories de l'air chaud vicié extrait pour réchauffer l'air frais entrant. Il est ainsi possible de récupérer jusqu'à 90 % de la chaleur de l'air sortant pour la transmettre à l'air entrant. En utilisant un puits canadien ou une pompe à chaleur, il est également possible de préchauffer l'air frais avant de l'introduire dans l'échangeur. Le principe est réversible en confort d'été, c'est-à-dire que l'on rafraîchit l'air extérieur avant de le faire entrer. L'ensoleillement direct en été doit être contrôlé, comme nous l'avons vu également, par la végétation ou des occultations.

Le surcoût d'une maison passive est de 10 % ou plus, environ, par rapport à une construction traditionnelle. Si le montant

Comparaison des valeurs de l'isolation entre la RT et les maisons passives		
Parois (U en W/m².K)	**Valeurs de référence RT**	**Maison passive**
Murs en contact avec l'extérieur	0,36(1) - 0,40(2)	≤ 0,15
Toiture/plancher haut	0,20(1) - 0,25(2)	≤ 0,15
Plancher bas/sol	0,27(1) - 0,36(2)	≤ 0,15
Fenêtres (U en W/m².K)		
Fenêtres et portes-fenêtres	2,10(1) - 2,30(2)	≤ 0,8
Ponts thermiques (ψ en W/m.K)		
Liaison plancher bas/mur	0,40*	< 0,01
Liaison plancher intermédiaire/mur	0,55*	< 0,01
Liaison toiture-terrasse/mur	0,50*	< 0,01
(1) : zones H1 et H2 (2) : zones H3 * : pour maisons individuelles		

Figure 29 : Le niveau d'isolation de la RT et des maisons passives

peut paraître important sur un budget de construction, il est à contrebalancer avec les gains futurs en énergie, la satisfaction d'avoir une empreinte écologique réduite et le fort potentiel à la revente d'un bien sobre en énergie.

Pour atteindre l'objectif de basse consommation exigé par le label, toutes les valeurs de demande en énergie sont calculées au moyen du logiciel de conception du PassivHaus Institut, le PHPP, en fonction des surfaces habitables nettes de l'habitation.
Né au nord de l'Europe, ce référentiel n'était pas très adapté au climat des pays du sud. C'est pourquoi le consortium Passive-On a décidé d'édicter des adaptations des prescriptions PassivHaus pour les pays du sud. L'esprit et la plupart des recommandations restent les mêmes, avec cependant quelques différences importantes. Par exemple, la demande en énergie de chauffage ne doit pas dépasser 15 kWh/m²/an. Le même niveau doit être respecté en ce qui concerne la climatisation. La consommation totale d'énergie primaire (y compris la production d'eau chaude et l'éclairage) ne doit pas dépasser 120 kWh/m²/an. L'étanchéité à l'air, normalement de 0,6 volume/h, peut atteindre 1 volume/h si la température extérieure ne descend pas en dessous de 0 °C.

Le chauffage, par nature limité, est généralement assuré par le système de VMC double flux ou par une petite chaudière à biomasse (bois). L'électroménager est à choisir dans les gammes d'appareils de classe A (peu consommateurs). Pour l'eau chaude, on peut installer un CESI (chauffe-eau solaire individuel).
La transposition du modèle PassivHaus est tout à fait possible en France, cependant de nombreux problèmes apparaissent dus à plusieurs facteurs, notamment d'ordre culturel et de lobbying. En

effet, l'accent est mis sur la distribution d'énergie et sur la fourniture d'électricité nucléaire plutôt que sur l'économie d'énergie, et ce malgré les discours officiels. Dans la pratique, les acteurs des marchés sont très en retard par rapport à nos voisins européens.

L'isolation par l'extérieur exige un haut niveau de qualité et de qualification. Elle est encore trop peu répandue, notamment dans le privatif. Ce mode d'isolation remet en cause des habitudes établies depuis des décennies et nécessite d'en finir avec les ponts thermiques. Elle requiert également des épaisseurs d'isolant conséquentes, ce qui est en contradiction avec la recherche de surface habitable maximale, notamment lorsque le marché de l'immobilier est tendu. En effet, la réglementation actuelle est très pénalisante dans ce domaine si l'on considère la surface énorme que représentent 30 cm d'isolant tout autour d'une maison. Sauf cas spécifiques, la part déductible de la SHOB, concernant l'isolation, pour obtenir la SHON, est forfaitaire et représente 5 %, ce qui est loin du compte.

Le mode de chauffage est en rupture totale avec les habitudes et le mode de consommation français. La main-d'œuvre est peu ou pas formée à la construction avec une étanchéité élevée à l'air. Le coût global reste élevé, ce qui décourage les primo-accédants dont le principal souci est souvent d'obtenir les prix les plus bas.
Les règles de construction passive concernent tous les principes constructifs. Il peut s'agir aussi bien d'une maison à ossature bois, d'une maison à isolation répartie (brique ou béton cellulaire) que d'une construction en parpaings. Elles peuvent également s'appliquer en rénovation, cependant la mise en œuvre est plus délicate.

Le label Minergie

Le label Minergie a été créé en 1998, en Suisse. Il correspond en de nombreux points au label Effinergie. La demande de chauffage est limitée à 42 kWh/m²/an en construction neuve et à 80 kWh/m²/an en rénovation. Le principe est le même que la PassivHaus. L'enveloppe est très isolée (15 à 20 cm d'isolant), le plus souvent par l'extérieur. L'étanchéité à l'air doit être correcte. Les fenêtres sont à double vitrage peu émissif. La ventilation peut être mécanique. On a toujours recours à des appareils de chauffage. Les énergies renouvelables sont privilégiées pour l'obtention du label. Les appareils ménagers sont de classe A. Le surcoût d'une construction Minergie est de 6 % environ. Le niveau Minergie-P est une mise à jour du label de base, s'inspirant directement de PassivHaus, avec une consommation de chauffage, eau chaude et climatisation inférieure à 30 kWh/m²/an. Le triple vitrage est nécessaire ainsi qu'un isolant jusqu'à 30 cm d'épaisseur. Si un chauffage d'appoint est nécessaire, il ne doit pas dépasser 10 W/m².
Pour quelque label que ce soit, les méthodes de conception bioclimatiques que nous avons vues plus haut sont exigées ou fortement recommandées.
Il existe de nombreux autres labels en Europe (figure 30) et dans le monde : Maison 3 Litres en Allemagne, Building America, Leed et Zero Energy Homes aux États-Unis, KlimaHaus en Autriche, Casa Clima en Italie, Zaleh en Nouvelle-Zélande, Breeam en Grande-Bretagne, etc.

Comparaison de quelques labels européens

Consommations d'énergie primaire

MINERGIE (Suisse)

≤ 42 kWh/m².an
= consommation :
- chauffage
- eau chaude sanitaire
- ventilation
- climatisation

MINERGIE-P (Suisse)

≤ 30 kWh/m².an
= consommation :
- chauffage
- eau chaude sanitaire
- ventilation
- climatisation

effinergie (France)

< 50 kWh/m².an
= consommation :
- chauffage
- eau chaude sanitaire
- ventilation
- éclairage
- auxiliaires

Passivhaus (Allemagne, Autriche, Belgique...)

< 120 kWh/m².an
= consommation :
- chauffage
- eau chaude sanitaire
- ventilation
- climatisation
- éclairage
- auxiliaires
- électrodomestique

dont

< 15 kWh/m².an
= besoins en chauffage

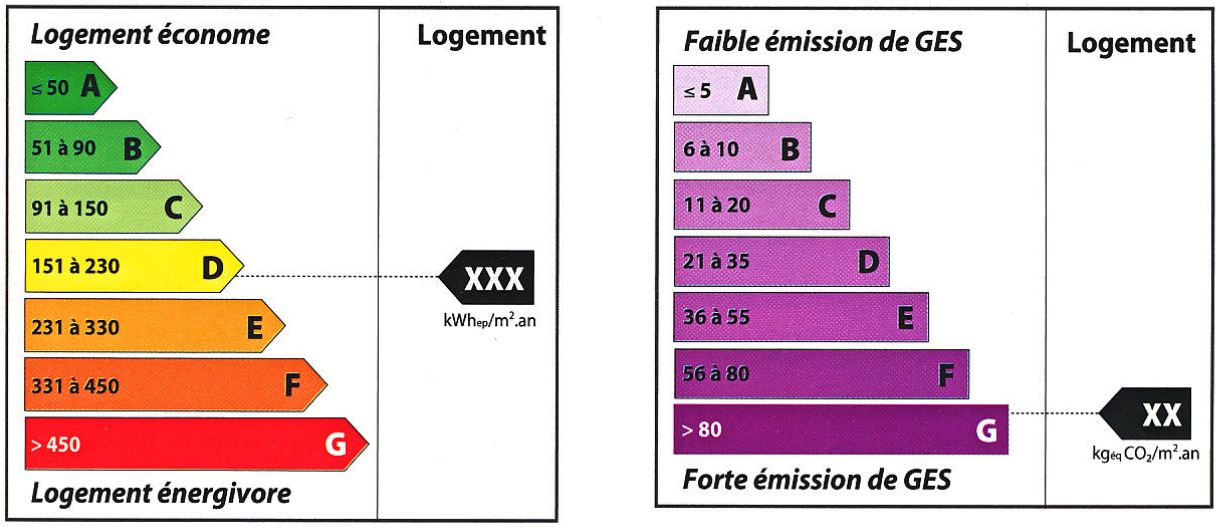
Consommations d'énergie primaire maximales selon les exigences de la RT 2005

Type de chauffage	Zone climatique	Consommation d'énergie primaire = consommation : - chauffage - eau chaude sanitaire - ventilation - climatisation - éclairage
Combustibles fossiles (gaz, fioul...)	H1 H2 H3	**130** **110** **80**
Chauffage électrique (y compris pompe à chaleur)	H1 H2 H3	**250** **190** **130**

Figure 30 : Les labels européens

Le diagnostic de performances énergétiques

Le DPE (figure 31) permet d'identifier les consommations prévisionnelles d'énergie des logements et des bâtiments mis en vente ou loués. La performance énergétique est indiquée par une estimation chiffrée en euros et par l'utilisation d'étiquettes similaires à celles utilisées pour l'électroménager et les voitures. L'une indique la consommation, l'autre permet de connaître l'impact de la consommation d'un logement sur l'effet de serre.



L'étiquette énergie indique la consommation d'énergie primaire en $kWh_{ep}/m^2.an$

L'étiquette climat indique le taux d'émissions de gaz à effet de serre (GES) en $kg_{éq}\,CO_2/m^2.an$

Figure 31 : Les étiquettes énergie du DPE

L'estimation de la consommation d'énergie est déterminée grâce à un diagnostic effectué par un professionnel, par calculs, ou sur la base des consommations des trois dernières années.
L'estimation donnée est indicative et ne constitue pas une garantie contractuelle. En d'autres termes, il n'y a pas d'obligation de travaux ni de mise en conformité. Elle permet d'évaluer la qualité d'un bien pour une meilleure négociation entre parties, à la vente comme à la location. Le vendeur ou le bailleur doit tenir ce document à la disposition de l'acheteur ou du candidat locataire dès qu'il en fait la demande.

Les professionnels formés à la réalisation de ces diagnostics sont référencés chez les intermédiaires immobiliers, les notaires et dans les points Espaces Info Énergie de l'ADEME dont la mission est de renseigner le public sur le DPE et sur les économies d'énergie.

L'acoustique dans les bâtiments

Dans les paragraphes suivants, nous allons aborder également l'acoustique en complément de l'isolation thermique, ce qui est important pour plusieurs raisons. En effet, le bruit est aujourd'hui considéré comme une réelle pollution, notamment dans les logements (télévisions, chaînes hi-fi, voisins, travaux, jardinage...).
Plus d'un français sur deux (54 %) se déclare gêné par le bruit lorsqu'il est chez lui, selon l'ADEME. Après la première source de bruit, c'est-à-dire les transports, les citadins se plaignent du bruit provoqué par leurs voisins.

Il existe des solutions, mises en avant depuis la « loi bruit » de 1992. Depuis, la réglementation évolue pour garantir une plus grande qualité acoustique dans les bâtiments neufs et dans l'ancien.

Une autre raison importante qui justifie de traiter de l'isolation acoustique est la complémentarité entre les matériaux et les techniques de mise en œuvre dans les domaines thermique et acoustique. Il est fréquent qu'une solution adaptée à l'isolation thermique le soit également dans le cadre d'une isolation acoustique.
L'échelle des bruits (figure 32) se mesure en décibels. Le niveau 0 correspond au seuil d'audibilité pour l'oreille humaine. Un niveau de 10 dB correspond à une ambiance calme. Un vent léger représente environ 20 dB, une conversation normale est comprise entre 40 et 50 dB. Au-delà de 70 dB, le bruit est considéré comme élevé (par exemple, le transport routier se situe à environ 90 dB). L'intérieur d'une discothèque peut atteindre 110 dB. Le seuil de douleur est atteint à 120 dB (avion au décollage).

Pour lutter efficacement contre les bruits, il faut connaître leur nature. On en distingue quatre sources dans les habitations (figure 33). Les bruits aériens extérieurs constituent la première source. Ils sont provoqués par le trafic routier, aérien

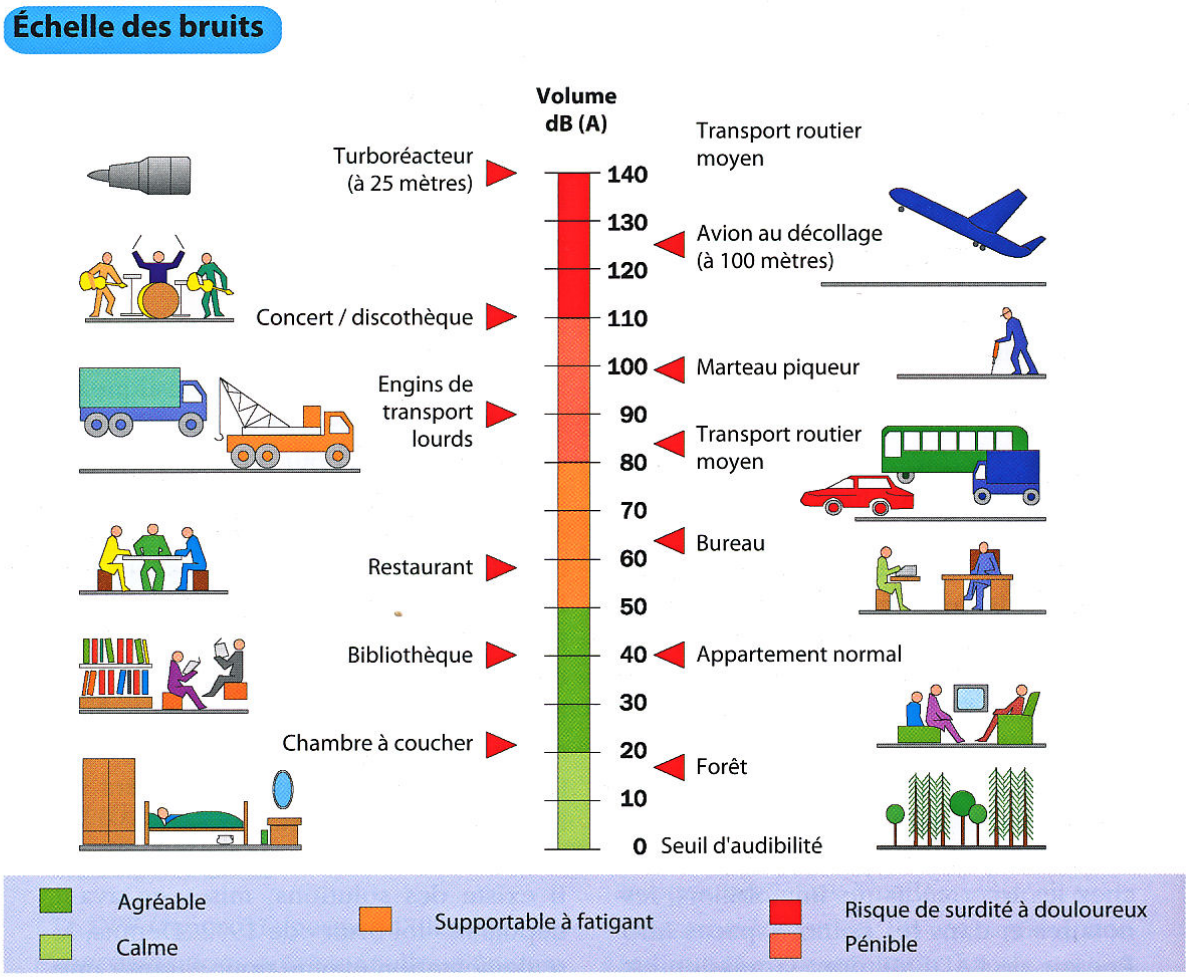
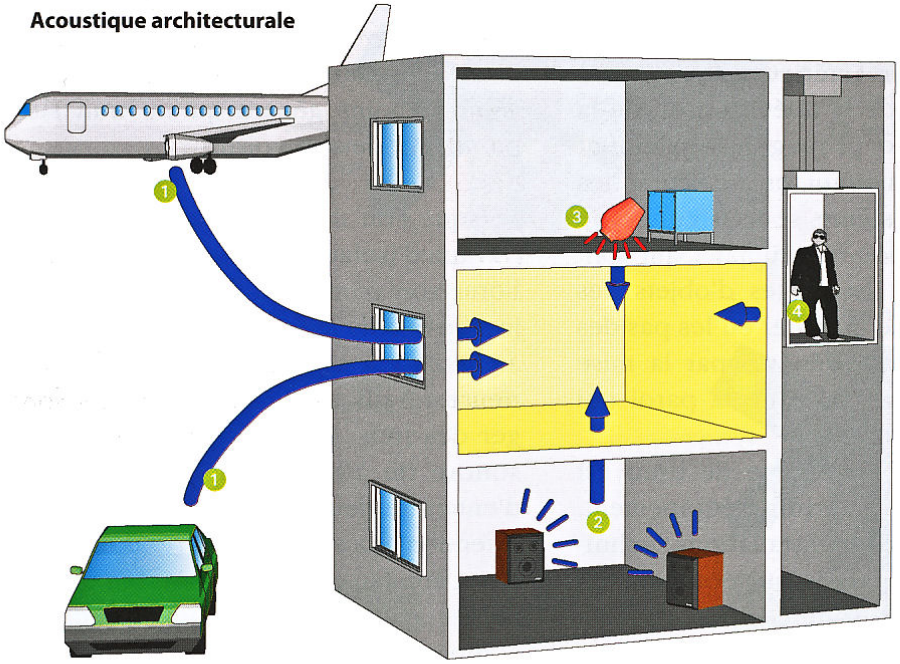


Figure 32 : L'échelle des bruits

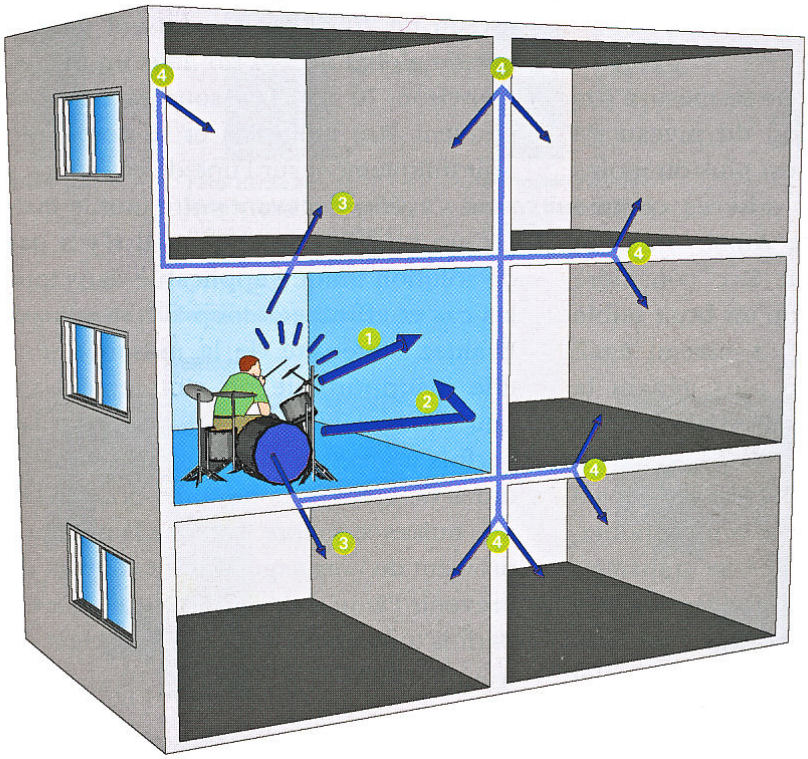
Les sources de bruit dans les habitations

Acoustique architecturale



1. Bruits aériens extérieurs
2. Bruits aériens intérieurs
3. Bruits d'impact
4. Bruits d'équipement

Transmission latérale des bruits aériens



1. Champ acoustique direct
2. Champ acoustique réverbéré
3. Transmission aérienne directe
4. Transmission du bruit aérien par les parois latérales

Figure 33 : Les sources de bruit dans les habitations

ou ferroviaire. Ils se propagent dans l'air et mettent en vibration les parois. La deuxième source est représentée par les bruits aériens intérieurs. Il s'agit des conversations, de la télévision ou de la musique. Ils se propagent également dans l'air en mettant en vibration les parois. La troisième source concerne les bruits de choc ou d'impact qui sont provoqués par les chutes d'objets, les déplacements de mobilier ou les pas des habitants. Ils sont générés par la mise en vibration du sol ou de la paroi qui reçoit le choc.
Enfin la quatrième source de bruit est représentée par les bruits d'équipement. Il sont émis par les installations techniques ou les appareils qui équipent un bâtiment, qu'ils soient situés dans le local ou non. Il peut s'agir, par exemple, des ascenseurs, des robinetteries, de la ventilation mécanique ou du système de chauffage.

La perception du bruit ne se mesure pas uniquement en fonction du niveau de décibels. En effet, elle est plus ou moins gênante selon divers critères comme la durée d'exposition. Ainsi, un bruit intense mais bref peut être considéré comme moins gênant qu'un bruit faible mais de longue durée. À niveau égal, un bruit est beaucoup plus gênant la nuit que le jour. Des bruits harmonieux dans un local, comme de la musique, vont paraître désagréables dans le local contigu malgré un niveau plus faible, car les fréquences graves se transmettent plus facilement. La conception des bâtiments peut aussi induire des comportements bruyants. Par exemple, l'effet « cocktail » se produit dans les locaux à forte réverbération : la multitude des conversations pousse chacun à parler de plus en plus fort.

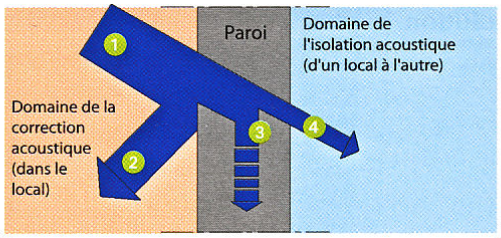
D'autres facteurs entrent également en ligne de compte, comme la subjectivité. En effet, un bruit choisi, venant de soi ou de son habitation est toujours perçu comme moins gênant qu'un bruit subi ou venant de son voisin.

Lorsque l'on décide d'entreprendre des travaux d'isolation acoustique pour améliorer son confort, il faut que cela soit justifié et utile. Pour être perceptible, une amélioration acoustique doit être supérieure à 3 dB, sinon il est inutile d'engager des frais. Une réduction du niveau sonore de 10 dB donne l'impression d'entendre deux fois moins de bruit.
Attention aux solutions ou produits miracle et aux fausses promesses. Les phénomènes acoustiques et leur mesure sont complexes. Les décibels ne s'additionnent pas automatiquement. Par exemple, deux sources proches ayant chacune un niveau de 70 dB ne produisent pas un niveau global de 140 dB mais un niveau d'environ 70 dB. Les sources de bruit peuvent être multiples et se combiner. Agir uniquement sur l'une de ces sources peut s'avérer décevant voire inutile malgré un budget conséquent. Il n'y a pas de solution unique applicable dans tous les cas et efficace à coup sûr.
Évaluez l'intensité de la nuisance, est-elle insupportable ou simplement un peu désagréable ? La solution consiste parfois à changer simplement ses habitudes de vie ou ses horaires pour éviter une nuisance sonore. Lorsque la nuisance provient du voisinage, il suffit souvent de prévenir l'auteur de la nuisance qui n'est parfois tout simplement pas conscient du trouble causé.

Lorsqu'il n'y a pas d'autre possibilité et à défaut d'étude acoustique, identifiez au mieux la nature du bruit dont vous

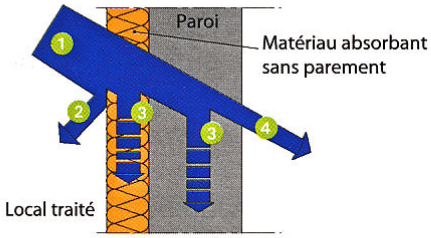
Acoustique des parois

Absorption acoustique



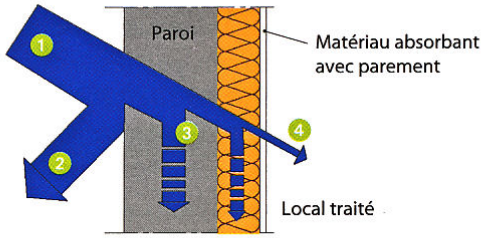
1. Onde sonore émise
2. Onde sonore réfléchie
3. Onde sonore absorbée
4. Onde sonore transmise

Correction acoustique



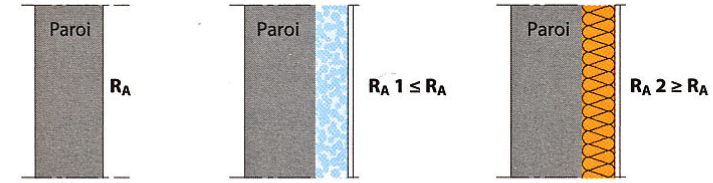
L'onde sonore absorbée et réfléchie diminue mais la partie transmise ne varie pas.

Isolation acoustique



L'onde sonore réfléchie ne varie pas. La partie absorbée augmente et la partie transmise diminue.

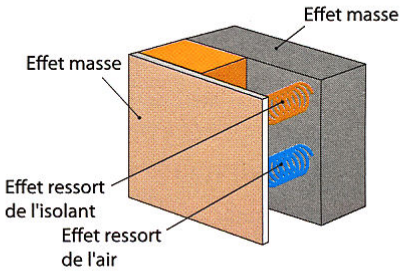
Influence de l'isolant



Paroi non traitée

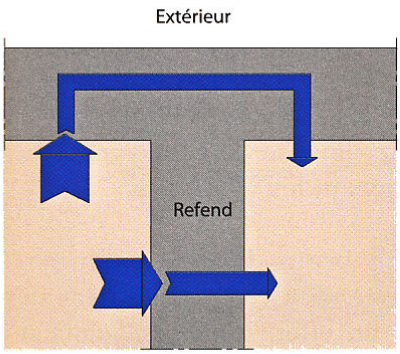
Paroi traitée avec un isolant rigide (polystyrène, mousse de polyuréthane)

Paroi traitée avec un isolant à base de fibres minérales

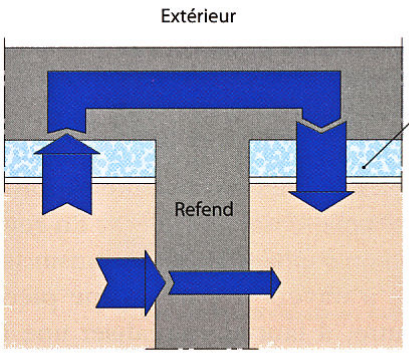


Principe de l'effet "masse-ressort-masse" des isolants fibreux.

Réduction de l'isolement acoustique



Sans isolation



Amplification des transmissions du bruit par le mur de façade.

Avec isolation thermique rigide

Figure 34 : L'acoustique des parois

souhaitez vous protéger, comme indiqué dans les paragraphes qui suivent. Vous pourrez alors choisir la solution la plus adaptée.

Les bruits aériens

Les bruits aériens se transmettent par les parois séparatives horizontales ou verticales (mur, plancher, plafond ou cloison) par transmission directe. Ils passent également par les autres parois par transmissions indirectes ou latérales. Les points singuliers sont également source de transmission, généralement partout où l'étanchéité à l'air fait défaut, par exemple au niveau des boîtes d'encastrement électriques, des fissures dans les murs, des joints des menuiseries, etc. Ce sont les transmissions parasites (figure 33).

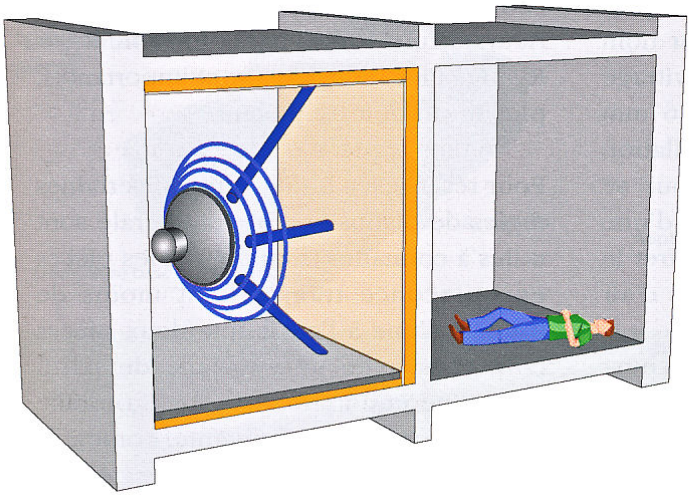
Lorsqu'un son rencontre une paroi homogène, l'énergie sonore est répartie de différentes manières. La plus grande partie est réfléchie dans le local même d'émission, c'est la réverbération. Une autre partie passe à travers la paroi. L'énergie résiduelle est dissipée à l'intérieur de la paroi (figure 34). Pour améliorer le confort acoustique, deux champs d'action sont donc possibles. On peut effectuer une correction acoustique, c'est-à-dire traiter l'énergie absorbée et réfléchie par les parois. C'est le cas, par exemple, dans un studio d'enregistrement ou lorsque l'on souhaite supprimer la résonance dans une pièce. En revanche, si l'on souhaite éviter la transmission du son à travers la paroi d'une pièce à une autre, il faut alors réaliser une isolation acoustique.

Sur la figure 34, on constate qu'une correction et une isolation acoustiques n'ont pas les mêmes résultats et ne doivent pas être confondues.
Pour réaliser une isolation acoustique efficace, les principes à respecter sont similaires à ceux que l'on observe en isolation thermique. L'étanchéité à l'air doit être parfaite, et il faut traiter les points de passage. Il est préférable d'utiliser des matériaux denses et lourds, plus aptes à absorber les ondes sonores. Par exemple, à épaisseurs égales, une paroi en béton est plus isolante qu'une paroi en plâtre. La meilleure isolation sera obtenue grâce à la loi « masse ressort masse ». Elle consiste à mettre en œuvre des parois doubles, comme des plaques de plâtre ou des cloisons en briques, désolidarisées et séparées par de l'air ou par une laine minérale. L'isolant a pour fonction d'absorber et de dissiper l'énergie sonore qui arrive diminuée contre la deuxième paroi, dans un matériau plus lourd.

Attention, un isolant posé seul dans le local d'émission permet d'améliorer l'acoustique (correction) mais ne constitue pas une isolation. Le niveau sonore reçu dans le local contigu sera sensiblement le même. Il est important de noter également que tous les isolants efficaces dans le domaine thermique ne le sont pas dans le domaine acoustique. En général, les isolants fibreux sont recommandés pour une bonne isolation acoustique alors que les isolants rigides peuvent avoir l'effet inverse de celui recherché, en transmettant les vibrations.

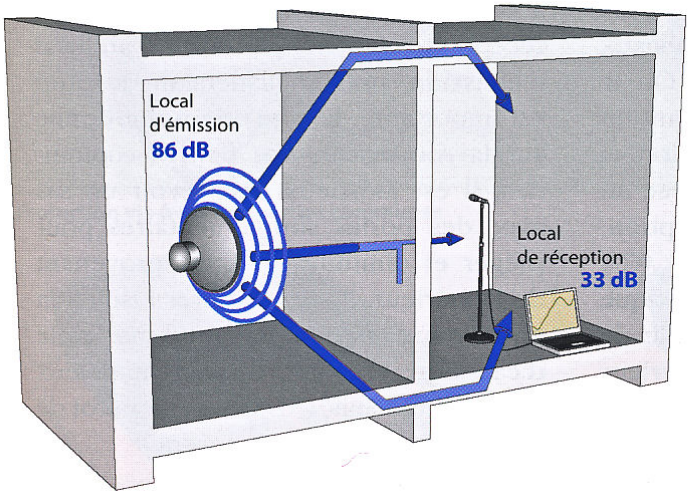
Contre les bruits aériens extérieurs, le problème vient principalement des ouvrants. En effet, les murs, généralement en matériaux lourds, garantissent à eux seuls un confort acoustique suffisant. Les sons passent principalement par les vitrages des fenêtres ou les coffres de

Définitions concernant les bruits aériens



L'isolation acoustique

L'isolation acoustique est l'ensemble des procédés mis en œuvre pour obtenir la qualité acoustique recherchée.



Indices de mesure des bruits aériens

L'isolement acoustique

L'isolement acoustique représente la valeur (en dB) de l'isolation entre deux locaux ou entre un local et l'extérieur. Il est mesuré dans le bâtiment (*in situ*) en émettant un bruit élevé dans le local d'émission et en mesurant le niveau de bruit à l'aide d'un sonomètre dans le local de réception.

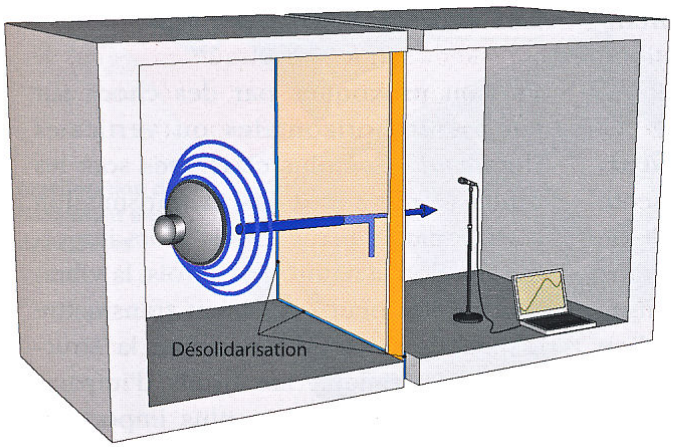
Isolement acoustique standardisé pondéré
$D_{nT,w}$ (C ; C_{tr})

Isolement aux bruits aériens entre locaux
(bruits roses)
$D_{nT,A} = D_{nT,w} + C$

Isolement aux bruits aériens extérieurs
(bruits route)
$D_{nT,A,tr} = D_{nT,w} + C_{tr}$

Plus les valeurs sont importantes, meilleur est l'isolement.

Exemple d'isolement mesuré : $D_{nTA} = 86 - 33 = 53$ dB



L'indice d'affaiblissement acoustique

L'indice d'affaiblissement acoustique représente la qualité acoustique d'un élément de construction (en dB). Il est mesuré en laboratoire pour s'affranchir des transmissions de bruit latérales.

Indice d'affaiblissement acoustique pondéré
R_w (C ; C_{tr})

Affaiblissement aux bruits aériens entre locaux
(bruits roses)
$R_A = R_w + C$

Affaiblissement aux bruits aériens extérieurs
(bruits route)
$R_{A,tr} = R_w + C_{tr}$

Plus les valeurs sont importantes, meilleur est l'isolement.

Exemple : R_w (C ; C_{tr}) = 42 (-3 ; 6) $R_A = 42 + (-3) = 39$ dB
$R_{A,tr} = 42 + 6 = 49$ dB

Figure 35 : Définitions concernant les bruits aériens

volets roulants, par exemple. L'installation de doubles vitrages asymétriques 10-6-4 est conseillée. Comme leur nom l'indique, ils sont composés d'un vitrage de 10 mm, d'une lame d'air de 6 mm et d'un vitrage de 4 mm. La ventilation ne doit jamais être obstruée pour se protéger du bruit. Pour bénéficier d'une ventilation correcte sans laisser entrer le bruit, on peut utiliser des entrées d'air acoustiques.

Pour évaluer les performances acoustiques, deux paramètres sont à considérer.

Le premier est l'**isolement acoustique**, qui représente le nombre de décibels gagnés par l'isolation entre deux locaux ou entre un local et l'extérieur. On le mesure dans l'habitation en émettant un bruit élevé dans le local d'émission et en mesurant le niveau de bruit avec un sonomètre dans le local de réception. On l'exprime par la formule $D_{nT,w}(C ; C_{tr})$, représentant l'isolement acoustique standardisé pondéré. Il est possible de déterminer l'isolement aux bruits aériens entre deux locaux (bruits roses) par la formule $D_{nT,A} = D_{nT,w} + C$. L'isolement aux bruits aériens extérieurs (bruits route) s'exprime par la formule $D_{nT,A,tr} = D_{nT,w} + C_{tr}$. Plus les valeurs sont importantes, meilleur est l'isolement acoustique (figure 35).

Le second paramètre est l'**indice d'affaiblissement acoustique**. Il représente la qualité acoustique d'un élément de construction en décibels. Il est mesuré en laboratoire afin de ne pas tenir compte des transmissions latérales. L'indice d'affaiblissement acoustique pondéré normalisé est représenté par $R_w(C ; C_{tr})$. Cet indice permet de déterminer l'affaiblissement aux bruits aériens entre deux locaux (bruits roses) par la formule $R_A = R_w + C$. On peut également déterminer l'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs (bruits route) par la formule $R_{A,tr} = R_w + C_{tr}$. Plus les valeurs sont importantes, plus le produit est isolant.

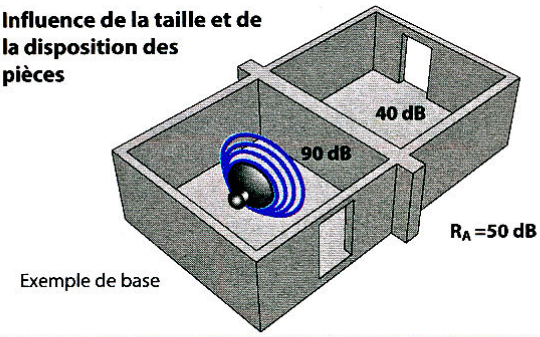
Pour réduire les bruits aériens, certaines règles de disposition architecturale sont utiles à connaître (figure 36). Des pièces en quinconce transmettent moins de bruit de l'une à l'autre que deux pièces contigües avec une surface de paroi commune importante. Il est déconseillé de placer une pièce bruyante, comme la salle de bains ou la cuisine, directement à côté d'une chambre. Plus le local de réception est grand, par rapport au local d'émission, plus la dispersion du bruit est importante. Lorsqu'une porte donne sur la rue ou sur des parties communes, il est judicieux de prévoir un sas avec des portes supplémentaires pour piéger et diminuer le bruit provenant de l'extérieur. Pour améliorer l'isolation entre deux pièces ou entre une salle d'eau et une chambre, il est judicieux de situer des placards contre la paroi de séparation.

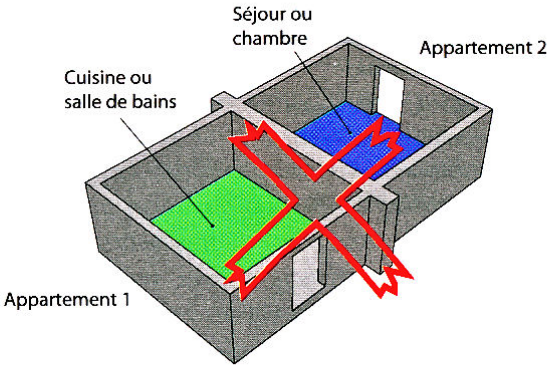
Les bruits d'impact

Ils sont provoqués par des chocs sur les parois horizontales ou verticales (figure 37). Les plus classiques sont les bruits de pas sur le sol. La transmission directe par le plancher est alors importante. Selon la nature des parois, la vibration du sol peut également transmettre les ondes sonores dans toute la structure du bâtiment. Les bruits d'impacts posent des problèmes plus importants et complexes que les bruits aériens. Leur propagation s'effectue dans toutes les directions par les éléments de la

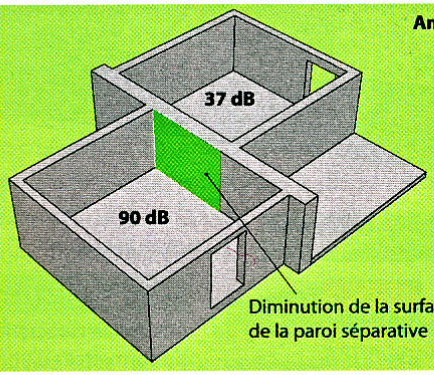
Dispositions architecturales et acoustiques

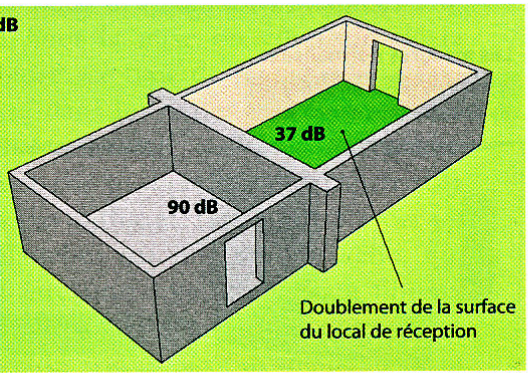
Influence de la taille et de la disposition des pièces



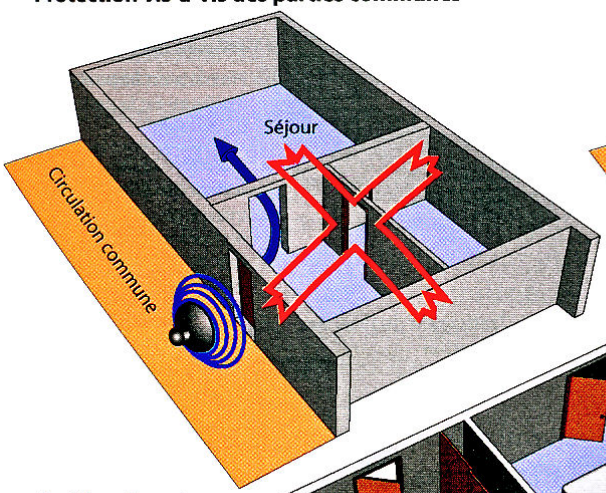


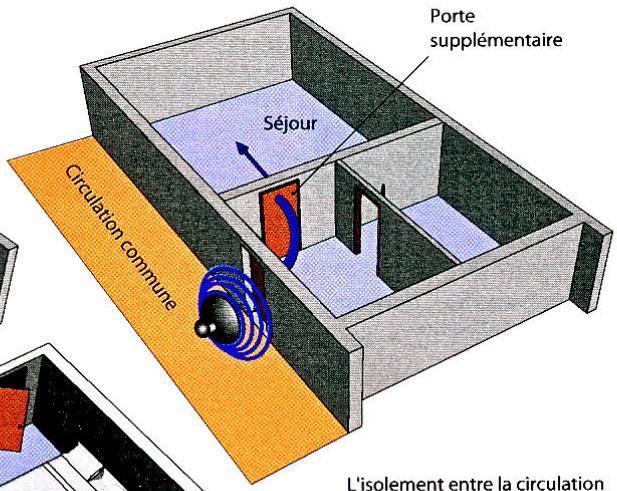
Amélioration de 2 à 3 dB





Protection vis-à-vis des parties communes





L'isolement entre la circulation commune et l'appartement est assuré par la porte palière et renforcé par la porte du séjour.

Amélioration de l'isolement entre deux pièces

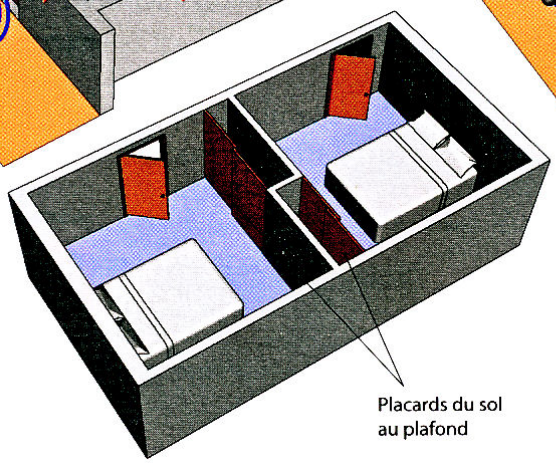
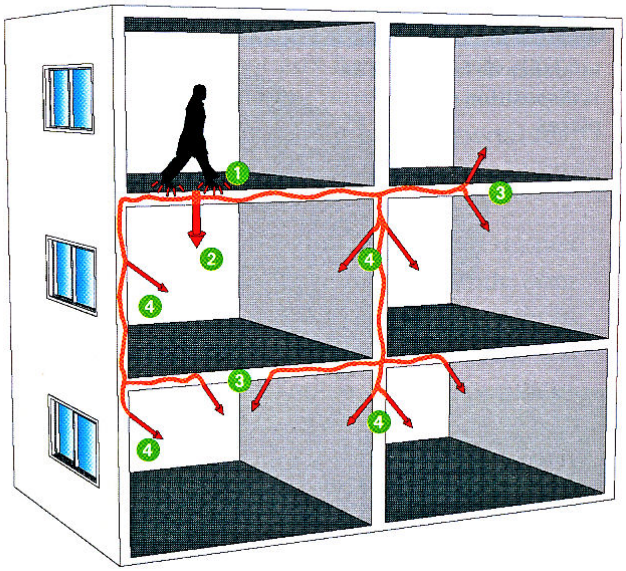


Figure 36 : Dispositions architecturales et acoustiques

Les bruits d'impact

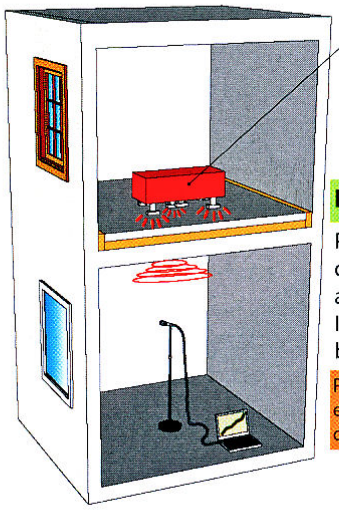
Les transmissions

1. Émission du bruit d'impact
2. Transmission verticale directe
3. Transmissions horizontales
4. Transmissions diagonales



Les mesures normalisées

Niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé

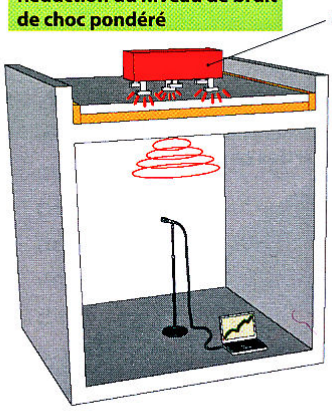


$L'_{nT,W}$ (en dB)

Permet de mesurer la différence de bruit reçu avant et après isolation. Il est mesuré dans le bâtiment (*in situ*) .

Plus $L'_{nT,W}$ est **faible**, meilleur est l'isolement du local vis-à-vis des bruits de chocs.

Réduction du niveau de bruit de choc pondéré



ΔL_W (en dB)

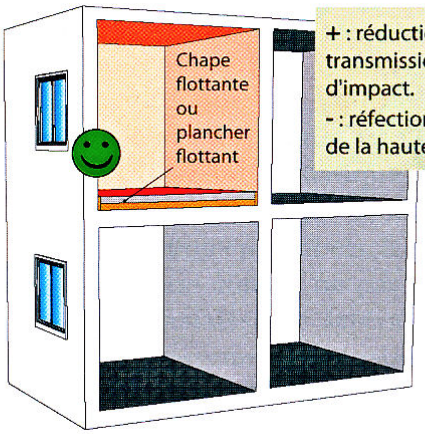
Cet indice caractérise les performances d'un isolant ou d'un système d'isolement. Il est mesuré en laboratoire.

Plus ΔL_W est **important**, meilleure est la performance du produit.

Attention : l'indice ΔL_W annoncé d'un isolant est mesuré sur une dalle de béton normalisée de 14 cm d'épaisseur. Sur un autre type de plancher, la performance de gain indiquée n'est pas assurée.

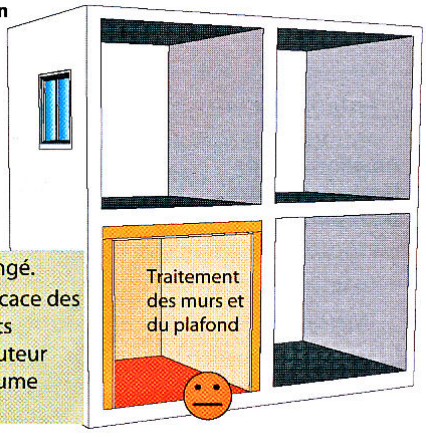
Les traitements

Traitement à la source



+ : réduction efficace des transmissions des bruits d'impact.
- : réfection des sols, réduction de la hauteur sous plafond.

Traitement du local de réception



+ : sol supérieur inchangé.
- : réduction moins efficace des transmissions des bruits d'impacts, perte de hauteur sous plafond et du volume de la pièce.

Figure 37 : Les bruits d'impact

construction (gros œuvre, tuyauteries, poutres métalliques...). Même dans un bâtiment étendu, un bruit d'impact peut se transmettre distinctement d'une extrémité à l'autre. La masse des parois joue un rôle minime dans l'isolement de ce type de bruits.

Deux types de mesure normalisés existent pour quantifier les bruits d'impact. Le premier est le **niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé**. Il s'exprime par l'indice $L'_{nT,W}$ en décibels. Il permet de mesurer la différence de bruit reçu avant et après la pose d'une isolation. La mesure s'effectue *in situ* au moyen d'une machine à chocs normalisée. Plus le niveau est faible, meilleur est l'isolement du local aux bruits de chocs.

Le second type de mesure est la **réduction du niveau de bruit de choc pondéré** exprimée par l'indice ΔL_w en décibels. Mesurée en laboratoire, elle caractérise les performances d'un isolant ou d'un système d'isolement. Plus elle est élevée, meilleure est la performance du produit. Il est important de noter que les mesures sont effectuées avec une dalle en béton de 14 cm d'épaisseur. Pour un autre type de plancher, la performance de gains indiquée n'est pas assurée, par exemple sur un plancher léger en bois.

Une isolation acoustique contre les bruits d'impact ne peut véritablement être efficace que si la nuisance est traitée à la source. Dans le cas d'un plancher lourd, un revêtement de sol amortissant comme une moquette épaisse ou un sol souple peut suffire à limiter les nuisances. Pour une isolation parfaite, la technique adéquate consiste à désolidariser le revêtement de sol du plancher porteur. On a alors recours à une chape flottante ou à un revêtement de sol flottant. Une chape est réputée flottante lorsqu'elle est entièrement désolidarisée des parois verticales et de toute canalisation traversante. Attention, cela exige une mise en œuvre impeccable et sérieuse. En effet, le moindre point de contact, à partir de 0,5 cm seulement, est susceptible de créer un pont acoustique et d'annuler les performances de l'isolation.

Dans le cas d'un plancher léger, il faut opter pour des solutions adaptées afin d'atténuer la mise en vibration de la structure. Ce type de plancher doit être réalisé dans les règles de l'art avec une rigidité suffisante (DTU 51.3). Le traitement par le dessus est indispensable mais pas suffisant. Il consiste à créer un surplancher sur une chape sèche, qui peut être une couche d'isolant fibreux incompressible ou une forme de granules (autrefois, on utilisait avantageusement du sable). Cependant, le gain maximal est de 18 dB. Il convient donc d'intervenir également par le dessous en réalisant un faux plafond avec isolant fibreux. Les parois verticales doivent également être isolées.

Quel que soit le type de plancher, le traitement dans le local de réception uniquement n'est jamais totalement satisfaisant. Il nécessite un doublage isolant renforcé contre la transmission directe des bruits, en sous-face et sur les parois verticales. Cela constitue une solution lourde et pénalisante à mettre en œuvre du fait de la perte en hauteur sous plafond et en surface habitable.

Les bruits d'équipement

Ce type de bruit ne concerne pas que les immeubles collectifs. Outre les installations importantes comme les ascenseurs ou la ventilation centralisée, les bruits

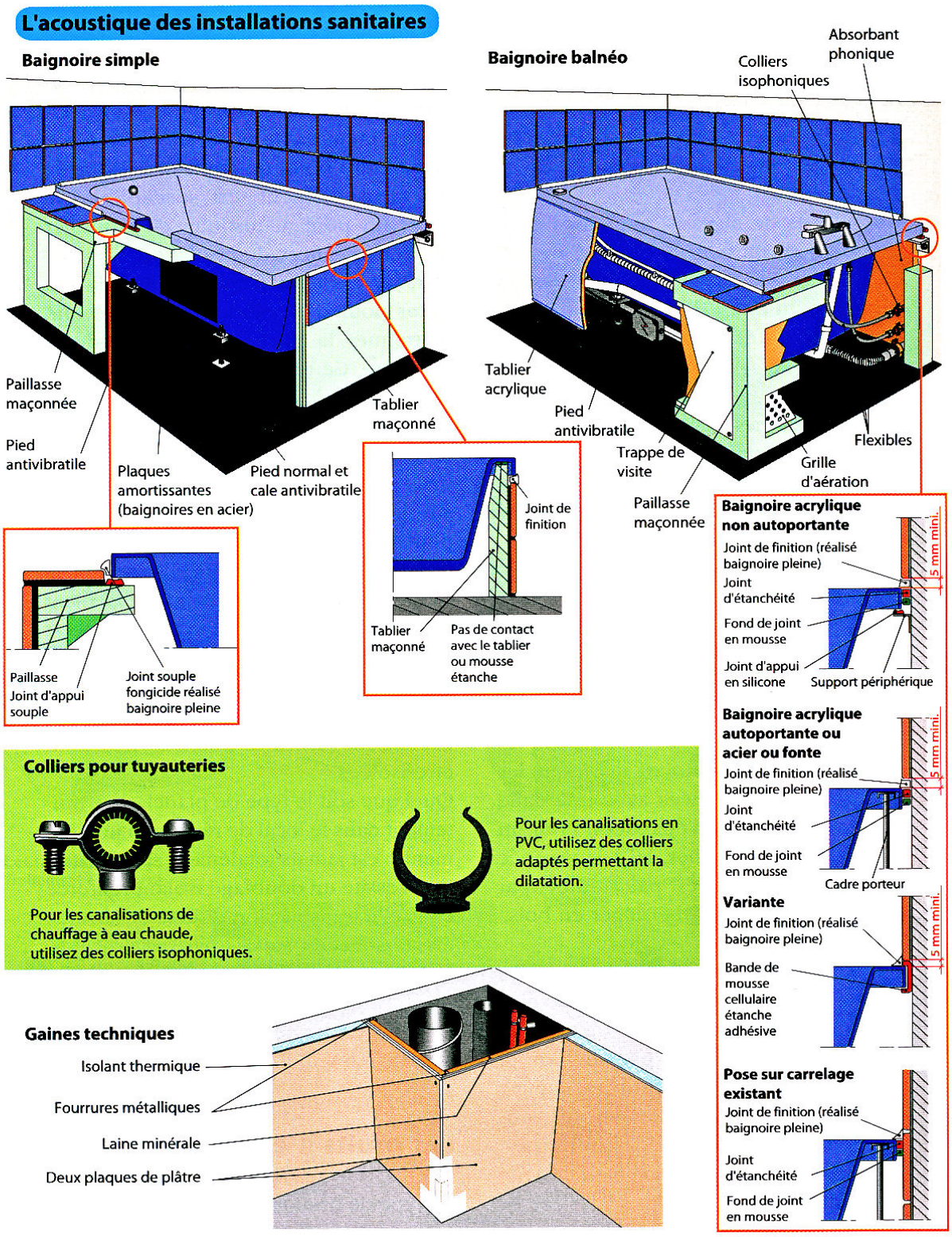
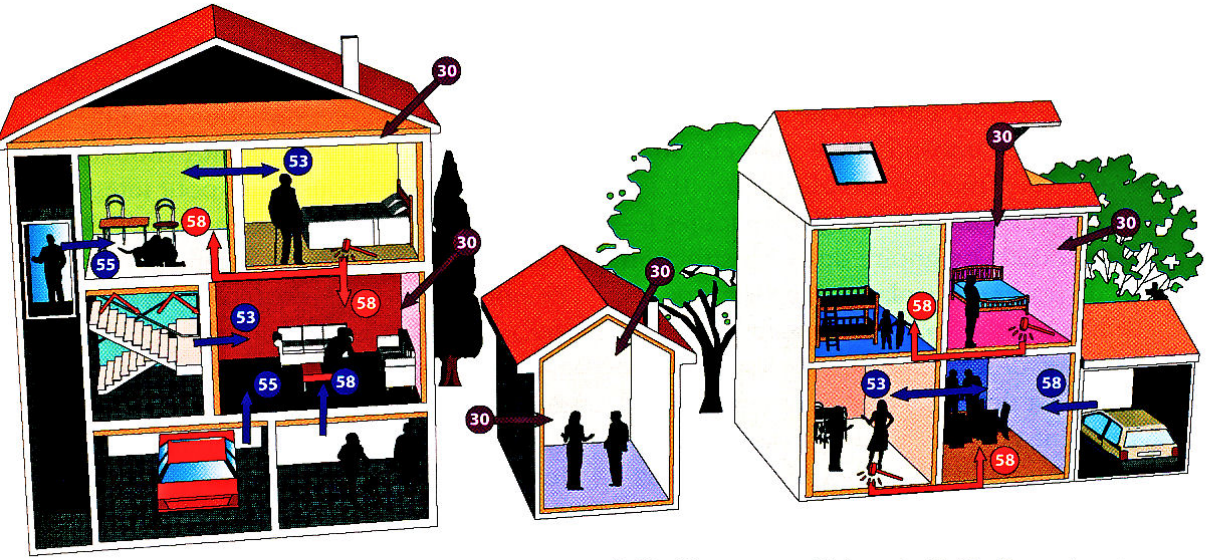


Figure 38 : L'acoustique des installations sanitaires

La réglementation acoustique



Logements collectifs **Maisons individuelles** **Maisons individuelles en bande**

- Isolement aux bruits aériens intérieurs $D_{nT,A} \geq$ **53, 55 ou 58 dB**
- Isolement aux bruits extérieurs selon classement des voies $D_{nT,A,tr} \geq$ **30 dB** minimum (voir tableau)
- Isolement aux bruits d'impact $L'_{nT,W} \leq$ **58 dB**
- Absorption acoustique

Niveau de bruit extérieur		
Catégorie	Niveau sonore environnant	Isolement $D_{nT,A,tr}$
1	+ de 81 dB	≥ **45 dB**
2	Entre 76 et 81 dB	≥ **42 dB**
3	Entre 70 et 76 dB	≥ **38 dB**
4	Entre 65 et 70 dB	≥ **35 dB**
5	Entre 60 et 65 dB	≥ **30 dB**

Bruits d'équipements collectifs L_{nAT}

Pièces principales		
Réglementation	LQ	LQCA
≤ **30 dB**	≤ **30 dB**	≤ **25 dB**
Cuisines		
≤ **35 dB**	≤ **35 dB**	≤ **35 dB**

Les label Qualitel et Qualitel Confort Acoustique

Ces labels sont attribués aux constructions neuves et imposent des exigences notamment en isolation acoustique supérieures à la norme en vigueur.

Isolement aux bruits d'impacts $L'_{nT,W}$		
Réglementation	LQ	LQCA
≤ **58 dB**	≤ **55 dB**	≤ **52 dB**
Isolement aux bruits intérieurs $D_{nT,A}$		
Pièces principales		
≥ **53 dB**	≥ **53 dB**	≥ **55 dB** (collectif) ≥ **58 dB** (maisons individuelles)
Cuisines et salles d'eau		
≥ **50 dB**	≥ **50 dB**	≥ **50 dB**

Bruits d'équipements individuels L_{nAT}

Chauffage			
Pièce	Réglementation	LQ	LQCA
Pièce principale fermée	≤ **35 dB**	≤ **35 dB**	≤ **30 dB**
Pièce principale ouverte sur une cuisine par baie libre	≤ **45 dB**	≤ **45 dB**	≤ **30 dB**
Cuisine fermée	≤ **50 dB**	≤ **50 dB**	≤ **50 dB**
Climatisation			
Pièce principale	≤ **40 dB**	≤ **40 dB**	≤ **30 dB**
Cuisine	≤ **50 dB**	≤ **50 dB**	≤ **50 dB**

Figure 39 : La réglementation acoustique

d'équipement peuvent aussi concerner des installations individuelles. Par exemple, les baignoires métalliques sont très sonores. Leur installation doit être effectuée avec soin. Dans le cas de baignoires balnéo, les transmissions peuvent aussi s'effectuer par les canalisations. Il est alors important de désolidariser toutes les parois de la baignoire de la construction et de poser des isolants dans les espaces situés sous la baignoire pour absorber le bruit des pompes. Sous les pieds, il convient de placer des cales en matériau résilient afin de ne pas transmettre les vibrations dans le sol. Toutes les canalisations d'alimentation et d'évacuation doivent être flexibles pour ne pas devenir sources de transmissions dans les canalisations fixes lorsque les pompes fonctionnent (figure 38).

Les robinets sont également des équipements qui peuvent être très bruyants, en produisant des transmissions dans toutes les canalisations, si leur qualité acoustique est médiocre. Vérifiez ce point à l'achat, en notant le classement EAU sur l'étiquette. Plus l'indice A (acoustique) est grand, plus le robinet est silencieux. Choisissez toujours des matériels estampillés NF.

Sur les canalisations d'eau chaude et de chauffage central, installez des colliers isophoniques afin de réduire les bruits de dilatation.

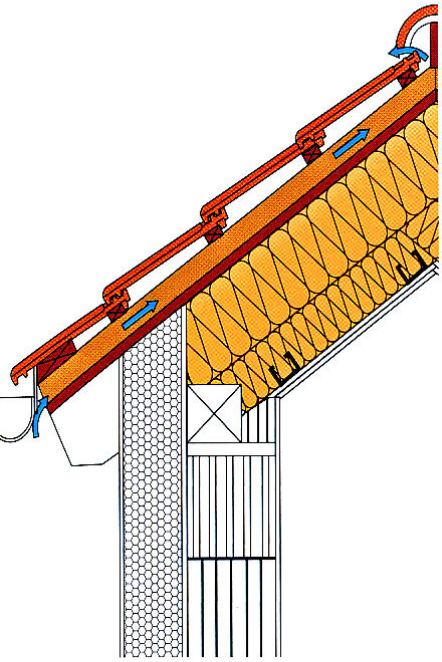
Les canalisations d'évacuation ou de ventilation doivent être enfermées dans des coffrages doublés avec un isolant fibreux.

La réglementation acoustique

Depuis 1969, la réglementation acoustique s'applique aux bâtiments neufs et pour les rénovations lourdes. Elle a été refondue en 1994 en NRA (nouvelle réglementation acoustique) pour intégrer la normalisation européenne, et elle fait l'objet de mises à jour régulières dans de nombreux domaines (collectif, hôtels, etc.). Des exigences minimales sont définies en matière d'isolement aux bruits aériens intérieurs, aux bruits aériens extérieurs et aux bruits d'impact. Pour les bruits aériens extérieurs, la réglementation prend en compte des valeurs minimales à respecter en fonction du niveau sonore extérieur subi (l'isolation doit être adaptée au niveau de bruit de l'extérieur, voir la figure 39).

Des exigences sont prévues également en ce qui concerne les bruits d'équipement, pour limiter les bruits produits à l'intérieur du logement (chauffage, climatisation...) et les bruits perçus dans le logement provenant d'équipements collectifs ou des logements voisins.

Il existe des labels qui garantissent un confort accru allant au-delà des exigences réglementaires, notamment en ce qui concerne les bruits de chocs et les bruits d'équipements collectifs. Il s'agit des labels Qualitel et Qualitel Confort Acoustique, délivrés par l'association de même nom. Ils sont attribués aux constructions neuves.



Les principes et les matériaux d'isolation

Dans la première partie, nous avons passé en revue les principaux enjeux liés à l'isolation thermique et acoustique, en termes de confort, d'économies d'énergie et de respect de l'environnement. De vos choix dépendra le succès de la solution mise en œuvre. Pour mener à bien votre projet, de multiples possibilités s'offrent à vous selon l'avancement des travaux, en neuf ou en rénovation. Les matériaux mis en œuvre ne seront pas forcément les mêmes selon que vous partez de zéro dans le cadre d'un projet de construction neuve ou que vous effectuez une rénovation dans une construction ancienne. Pratiquement tous les cas de figure sont prévus par les fabricants dans leurs gammes de produits en fonction des objectifs et des performances recherchés. Les matériaux sont de plus en plus performants et de plus en plus pratiques à mettre en œuvre. L'offre écologique se développe également dans les catalogues commerciaux et n'est plus strictement réservée à un public initié ou militant. Nous allons présenter dans cette partie les produits, matériels et solutions existants afin que vous puissiez faire votre choix pour une isolation performante, selon le type de parois à équiper, dans le respect de la réglementation et au-delà. La mise en œuvre sera plus particulièrement traitée dans la troisième partie.

Le principe de l'isolation thermique

L'isolation est un travail qui doit être réalisé avec soin. Un isolant inadapté ou mal posé, une paroi non traitée affaiblissent les performances de l'ensemble de l'isolation.
L'isolation concerne les murs extérieurs, les combles et le sol mais aussi les parois (mur, cloison) ou plancher en contact avec une cave, un garage ou un escalier desservant ces locaux. En règle générale, on doit isoler toutes les parois en contact avec l'extérieur ou des locaux non chauffés. Pour un appartement en immeuble collectif, les murs en contact avec des circulations communes non chauffées sont aussi pris en compte. Tout l'espace habitable doit constituer un ensemble isolé, indépendamment des autres locaux. Si on le désire, la cave et le garage peuvent aussi être isolés en cas d'occupation régulière de ces locaux en période froide (atelier dans le garage par exemple).

L'isolation des sols sur terre-plein peut poser un problème dans un projet de rénovation. En effet, la seule possibilité d'isolation implique une réfection de ce sol et la pose d'un isolant sous la chape. Les déperditions par le sol représentent à peu près 15 % des déperditions totales de l'habitation. Il est donc utile de comparer le surcoût occasionné par la réfection du sol par rapport au coût des déperditions.
On dispose sur le marché d'une large gamme de produits adaptés à toutes les situations (figure 40).

Les matériaux d'isolation se présentent généralement sous forme :

- de rouleaux ou de planneaux pour les isolants fibreux ;
- de plaques pour le polystyrène et le polyuréthane ;
- de flocons ou granulats (laine de roche, vermiculite, verre) ;
- de matériaux de construction (béton cellulaire, briques à alvéoles multiples) ;
- de panneaux de doublage constitués d'une plaque de plâtre cartonnée sur laquelle est collé un isolant (laine minérale, polystyrène ou autre). Ce type d'isolant est désigné sous l'appellation 10 + épaisseur de l'isolant.

Comme indiqué, la plupart des isolants thermiques possèdent également des qualités d'isolation acoustique.

Il existe quatre grands principes d'isolation :
- l'isolation intérieure : pose de matériaux isolants à l'intérieur du local ;
- l'isolation extérieure : pose de matériaux isolants sur les murs de la construction (par l'extérieur) ;
- l'isolation répartie : le matériau utilisé pour la construction des parois est isolant ;
- l'isolation par remplissage d'ossature.

La figure 41 illustre ces différents procédés. Quelle que soit la position du matériau isolant dans la paroi, la résistance thermique est la même. Cependant, les performances en termes d'inertie thermique seront très différentes selon que l'isolant est placé à l'intérieur ou à l'extérieur. Il en est de même pour la problématique des ponts thermiques et de la condensation.

L'**isolation intérieure** est la solution la plus répandue en France, surtout en rénovation. Elle est d'un coût raisonnable

Figure 40 : Les procédés d'isolation

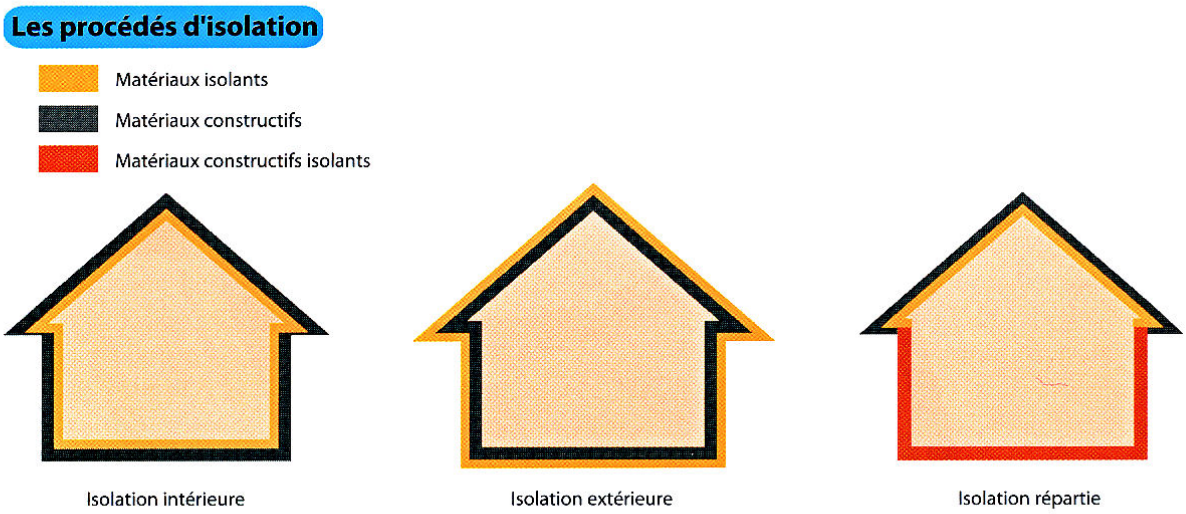


Figure 41 : Les procédés d'isolation

et relativement simple à mettre en œuvre (à la portée de tout bon bricoleur).
La pose des isolants est réalisée par l'intérieur de l'habitation au niveau des murs extérieurs, des combles et des sols.
Cette solution présente de nombreux inconvénients. L'épaisseur des isolants peut diminuer sensiblement la surface habitable. L'inertie thermique du mur n'est pas mise à profit. Les ponts thermiques sont nombreux et difficiles voire impossibles à éliminer, avec des risques de condensation au cœur des parois.
En revanche, ce type d'isolation permet d'obtenir un habillage impeccable de la paroi intérieure, quel que soit l'état du mur d'origine.

L'**isolation extérieure** est réalisée par un isolant posé sur tous les murs extérieurs, recouvert d'un enduit ou d'un bardage. La toiture peut également être isolée par le même procédé.
La mise en œuvre d'une telle solution est délicate parce qu'il faut assurer l'étanchéité de la façade et installer un échafaudage : elle sera confiée de préférence à un professionnel.
Une telle solution est envisageable si le ravalement de l'habitation nécessite une réfection. Il en est de même pour la toiture, ce type d'isolation ne pouvant être réalisé sur une toiture existante.
Ce procédé est de loin le plus performant puisqu'il supprime de fait pratiquement tous les ponts thermiques. Le confort intérieur est amélioré grâce à l'inertie thermique. La maçonnerie est protégée des intempéries et des variations de température, ce qui augmente sa pérennité (figure 42). La fragilité accrue de la façade peut être considérée comme un inconvénient avec ce type d'isolation. L'entretien peut également être plus important, par exemple avec des bardeaux en bois.

L'**isolation répartie** concerne les matériaux de construction de l'habitation. Elle comprend la construction des murs extérieurs en matériaux isolants (monomurs terre cuite, béton cellulaire ou autres).

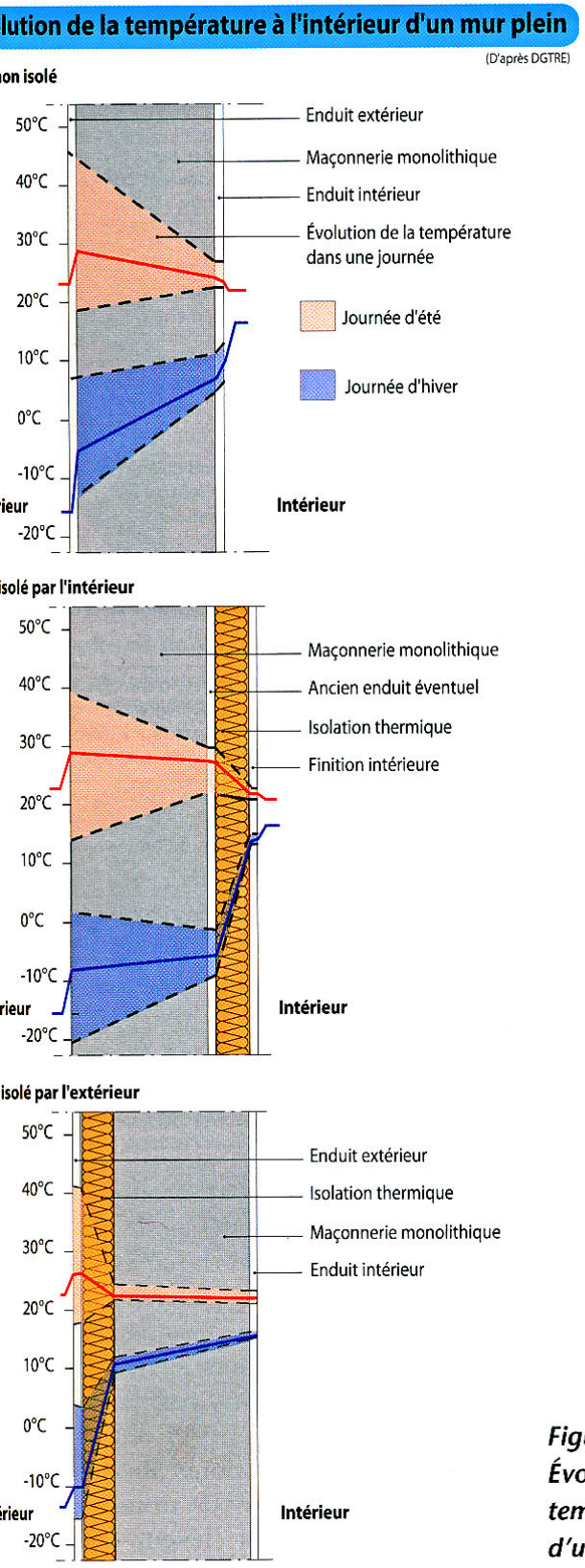


Figure 42 : Évolution de la température à l'intérieur d'un mur plein

L'isolation des combles est exécutée en isolation intérieure ou extérieure, l'isolation des sols en isolation intérieure. L'isolation répartie peut être adoptée en rénovation en cas de création d'un niveau ou surélévation de la maison. La figure 43 présente un comparatif des diverses solutions d'isolation thermique.

Les ponts thermiques

L'architecture d'une construction comporte des points où l'isolation présente des faiblesses ou même s'avère inexistante. Ces points se situent généralement au niveau des changements de plans (vertical/horizontal) ou des changements de paroi (mur/toiture ou mur/fenêtre). On appelle ces points faibles ponts thermiques linéaires (figure 44).

Un autre type de ponts thermiques, dits intégrés ou ponctuels, est souvent généré par les éléments de fixation des isolants ou par des ossatures secondaires (ossature métallique d'une isolation par l'intérieur, poutrelle en béton d'un plancher à hourdis, chevilles de fixation métalliques). Ils doivent être pris en compte pour le calcul du coefficient de transmission thermique U de la paroi.
Les ponts thermiques linéaires sont quantifiés par le coefficient linéique ψ (psi) exprimé en W/m.K. Les ponts thermiques intégrés sont caractérisés par le coefficient χ (ki) exprimé en W/K.

Comparaison des différents principes d'isolation thermique			
Critères techniques	**Isolation intérieure**	**Isolation extérieure** (finition crépi ou bardage)	**Isolation répartie** (monomurs, double murs)
Inertie thermique	L'inertie thermique du mur n'est pas utilisable.	Le confort intérieur est amélioré par la capacité d'accumulation de chaleur des murs.	Le confort intérieur est amélioré par la capacité d'accumulation de chaleur des murs.
Ponts thermiques	Il est difficile d'éviter les ponts thermiques.	Les ponts thermiques sont pratiquement inexistants (à soigner au niveau des fondations).	Solution satisfaisante dans la plupart des cas. Soigner les détails pour éviter les ponts thermiques.
Protection contre la pluie battante	La paroi extérieure ne doit pas permettre à l'eau d'atteindre l'isolant.	La peau extérieure assure une bonne protection contre la pluie.	Le problème de pénétration de la pluie battante doit être résolu.
Séchage du mur extérieur	Le mur extérieur sèche plus lentement en hiver et l'humidité pénètre plus profondément.	Le mur est protégé de la pluie et sa température reste constante.	Dépend du type de mur, de son orientation et de sa ventilation.
Protection contre le gel et les écarts de température	La paroi extérieure est sujette à toutes les variations extérieures (risques de fissures).	L'isolation extérieure protège du gel et des écarts de température trop importants.	Dépend de la composition et de la perméabilité de la paroi.
Humidité	L'isolant doit disposer d'un pare-vapeur efficace pour éviter tout risque de condensation.	La vapeur d'eau doit pouvoir migrer de l'intérieur vers l'extérieur à travers le revêtement extérieur.	La vapeur d'eau doit pouvoir migrer de l'intérieur vers l'extérieur à travers le revêtement extérieur.
Contraintes liées à la position de l'isolant	L'isolant doit être recouvert d'une peau intérieure (plaque de plâtre, lambris, contre-cloison).	L'isolant doit être protégé par une peau extérieure pour éviter sa dégradation.	Cette solution est la plus durable si les conditions de mise en œuvre ont été bien respectées.
Entretien	Ave une finition bien réalisée, ne nécessite qu'un entretien courant du revêtement intérieur.	De part sa nature, la peau extérieure peut nécessiter un entretien régulier.	L'entretien dépend de la nature et de la texture du revêtement ou du matériau extérieur (mur double).

D'après "La conception globale de l'enveloppe et l'énergie - Guide pratique pour architectes - Université de Liège"

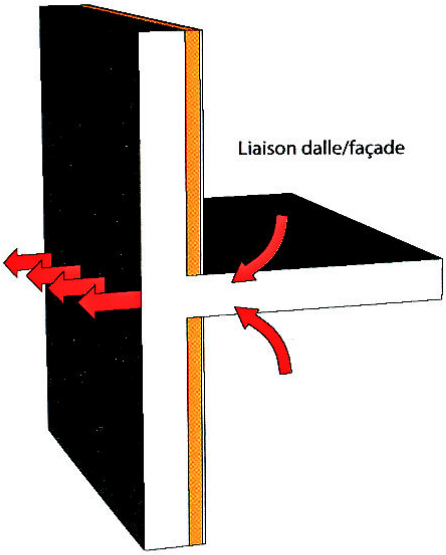
Figure 43 : Les principes d'isolation thermique

La conséquence des ponts thermiques est double. Ils sont une source importante de perte de chaleur (jusqu'à 40 %) et peuvent engendrer des désordres dus à la condensation (figure 45).

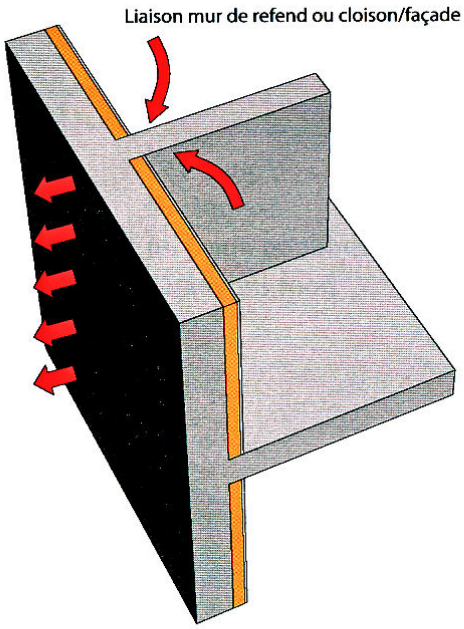
La réglementation thermique et les labels indiquent des valeurs de ponts thermiques à ne pas dépasser.
Pour comprendre l'importance des ponts thermiques et la nécessité des les traiter ou de veiller à ne pas en créer, on peut les considérer comme de véritables fuites. Un récipient aux parois étanches présente peu d'intérêt pour contenir un liquide s'il est percé d'un trou, même infime. Si l'on considère une habitation comme un récipient dans lequel on voudrait conserver non pas un liquide mais de la chaleur, les ponts thermiques constitueraient autant de trous qui entraîneraient des fuites de chaleur. Cela

Les types de ponts thermiques

Exemples de ponts thermiques linéaires PTL

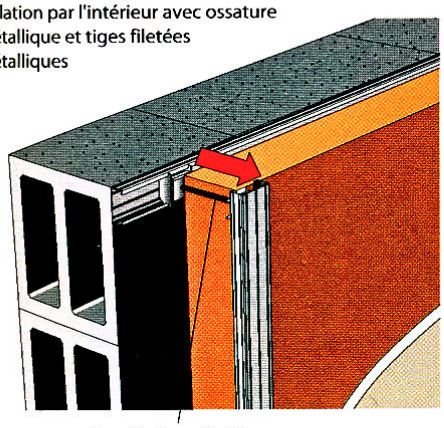


Unité (psi) ψ en W/(m.K)

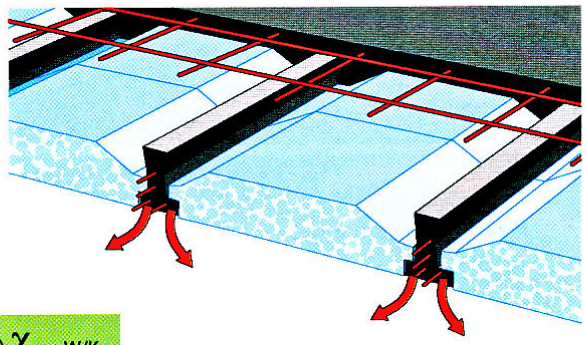


Exemples de ponts thermiques intégrés PTI (ou ponctuels)

Isolation par l'intérieur avec ossature métallique et tiges filetées métalliques

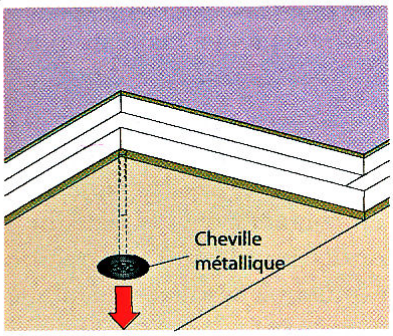


Utilisation de hourdis isolants sans languette de recouvrement



Unité (chi) χ en W/K

Isolation en sous-face avec panneaux composites fixés par des chevilles métalliques



Isolation extérieure avec des chevilles à axe métallique

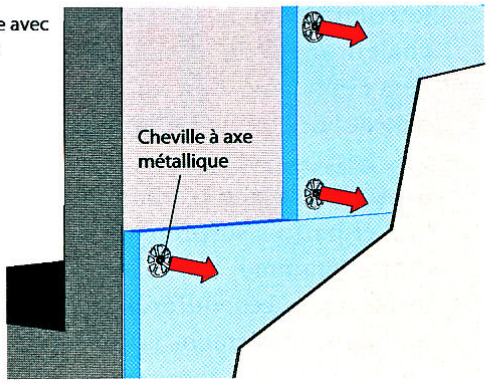


Figure 44 : Les types de ponts thermiques

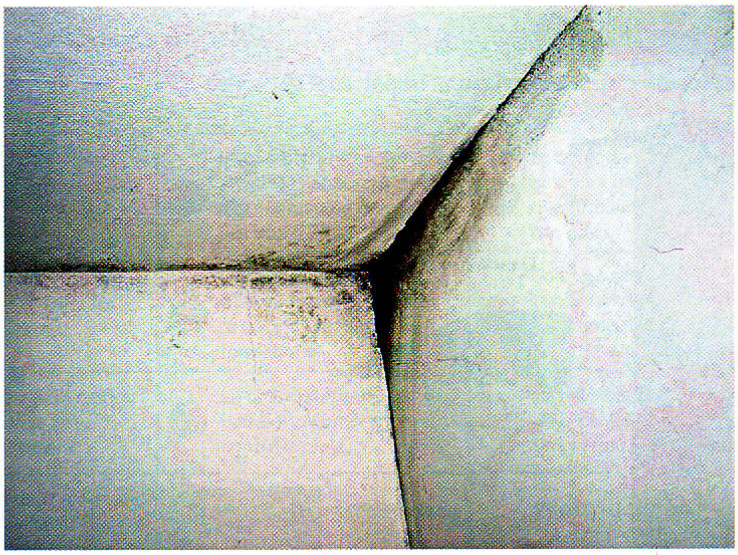


Figure 45 : Exemple de dégradation due à un pont thermique

signifie aussi, en pratique, qu'il est inutile de surisoler une partie du logement ou d'une pièce, par exemple en laissant une paroi non traitée. En isolant la moitié des murs, on n'obtiendrait pas une isolation à moitié efficace, mais simplement des performances très localisées et globalement pratiquement nulles, avec en prime des désagréments.

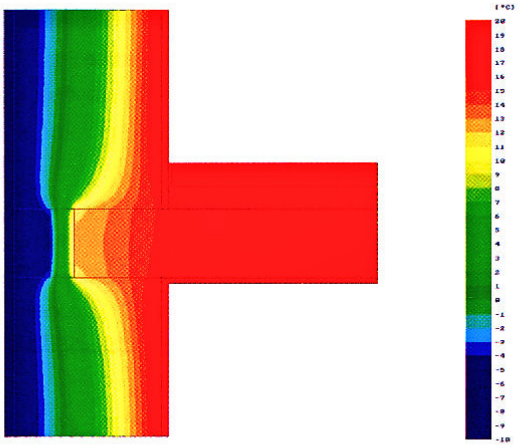
Telle un liquide, la chaleur empreinte la voie la plus facile pour traverser les matériaux, c'est-à-dire la moins isolée. Par exemple, le diagramme thermique d'une dalle béton reprise dans un mur en béton cellulaire (figure 46), montre le comportement du flux thermique. La chaleur tente de s'échapper par la dalle vers l'extérieur. Elle est freinée par l'isolant et la planelle en bout de dalle.

À l'échelle d'une habitation, il est possible, et parfois surprenant, de réaliser un thermogramme, au moyen d'une caméra infrarouge. Les différences de couleur montrent clairement la présence et l'intensité des ponts thermiques qui peuvent exister dans une habitation. À l'extérieur, les couleurs froides (vert, bleu) sont le signe d'une bonne isolation puisque la chaleur intérieure ne traverse pas les parois. Sur la figure 47, on constate nettement la différence entre la partie gauche de la maison, isolée par l'extérieur, et la partie droite, non isolée. La façade non isolée laisse apparaître les points faibles comme les linteaux, les appuis de fenêtre et la liaison mur/toit.

À l'intérieur, les couleurs froides indiquent un manque d'isolation, puisque le froid pénètre dans l'habitation. On constate que les ouvrants sont des points faibles, comme le montre la fenêtre de toit, ainsi que les planchers et les changements de paroi. Ils peuvent être dus également au manque de soin à la mise en œuvre entraînant un mauvais positionnement et des fuites d'air.

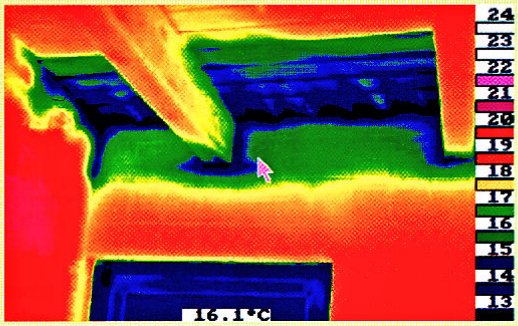
Les ponts thermiques se produisent donc en divers points de la construction dans les parois en contact avec l'extérieur ou avec des locaux non chauffés. Les plus courants se situent à la jonction entre la façade et (figure 48) :

- le plancher bas,
- le plancher intermédiaire,

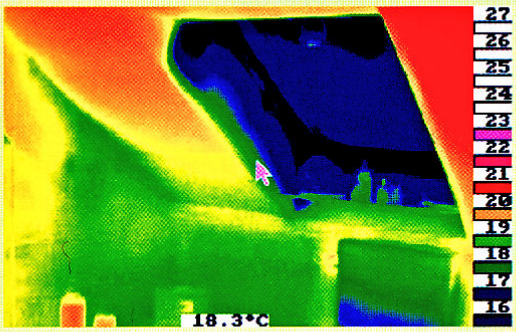


© Ziegel

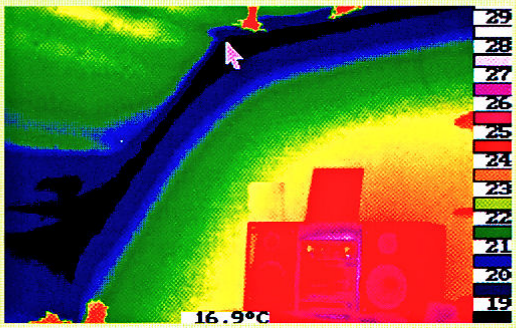
Figure 46 : Exemple de diagramme thermique d'un mur



Pont thermique au niveau du plancher



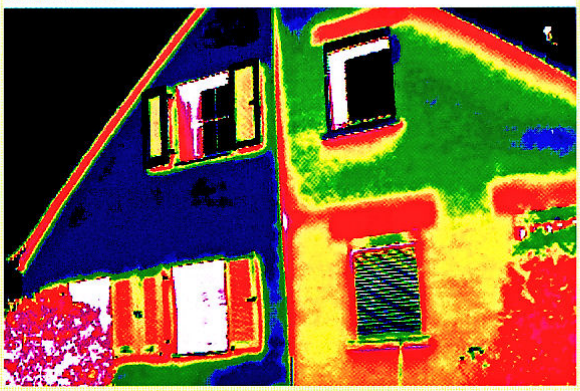
Pont thermique dû à une fenêtre de toit



Pont thermique à la jonction entre toiture et pignon

© Ecoba

© STO

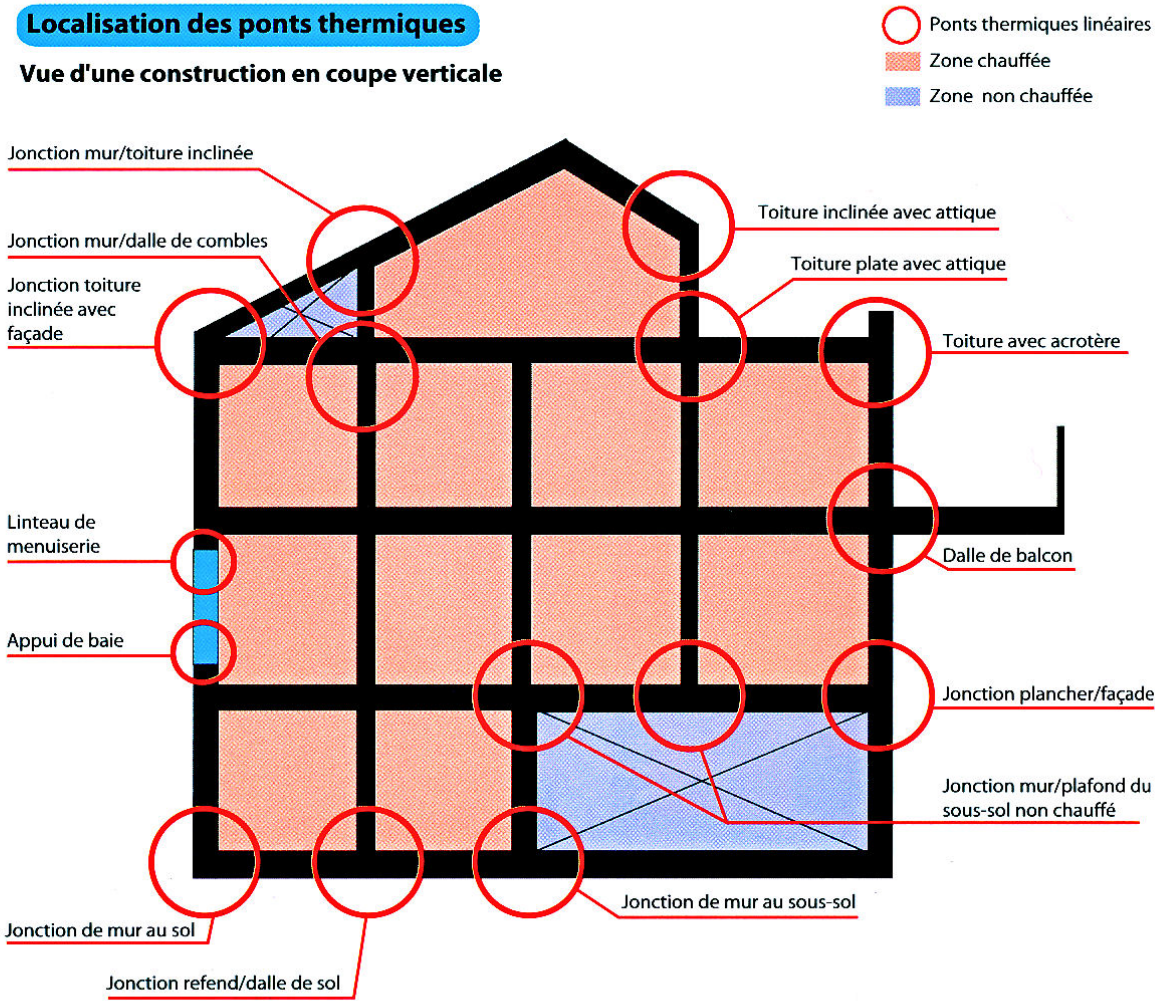


Le logement de gauche est isolé par l'extérieur et apparaît froid. Celui de droite n'est pas isolé et apparaît chaud sur la photo thermique.

Figure 47 : Exemples de thermogrammes

Localisation des ponts thermiques

Vue d'une construction en coupe verticale



Vue d'une construction en coupe horizontale

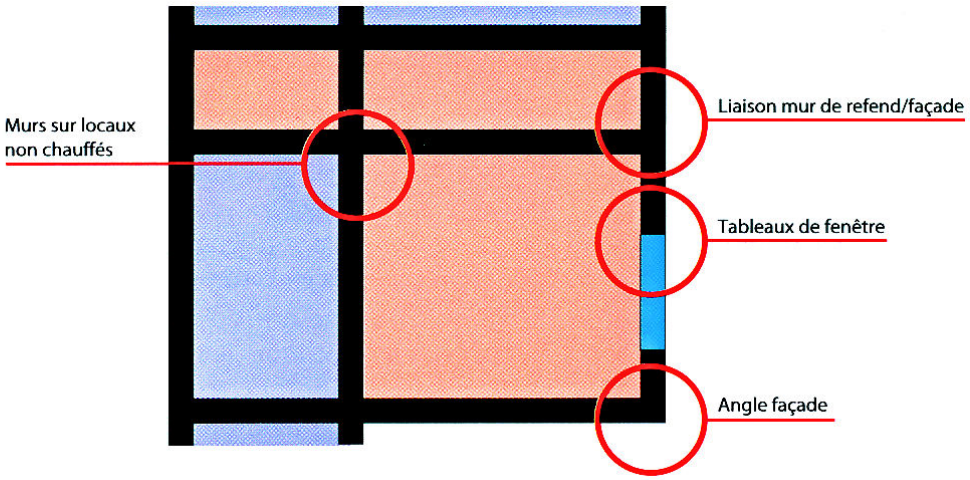


Figure 48 : La localisation des ponts thermiques

- la dalle de balcon,
- la toiture (en pente ou en terrasse),
- les murs de refend,
- les ouvrants.

Les ponts thermiques ont une intensité plus ou moins importante selon le type de construction ou le principe d'isolation choisis. Leur traitement doit être adapté en conséquence (figure 49).

Trois règles principales sont envisageables pour annuler ou réduire les ponts thermiques. Elles peuvent être combinées entre elles pour un résultat encore plus efficace.
La première consiste à créer une barrière en plaçant un élément de rupture isolant au niveau du passage du flux de chaleur. Les éléments de construction prévus à cet effet sont les rupteurs de pont thermique disponibles pour de nombreux cas de figure. De même, la pose d'une remontée en matériau isolant tout autour d'une chape flottante ou d'une dalle sur terre-plein constitue une barrière.

La deuxième solution possible consiste à réduire la section du passage de la chaleur. Par exemple, en réalisant un plancher sur entrevous isolants, on limite le passage de la chaleur à la dalle de compression et non plus sur toute l'épaisseur du plancher. En utilisant des limiteurs de pont thermique, il est possible d'améliorer encore cette solution. Grâce à ce système, le flux sera alors limité aux seules poutrelles en béton.
Enfin, lorsque l'on ne peut pas arrêter un flux thermique, il faut chercher à rallonger son parcours. C'est pourquoi il est utile, par exemple, de placer des planelles isolantes en about de dalle. Si le mur est épais (monomur de 30 cm ou plus), il est possible de placer un élément isolant supplémentaire derrière la planelle (système de double planelle).
Pour une construction classique en parpaings ou en briques avec isolation par l'intérieur, les principaux ponts thermiques sont localisés à la liaison entre la façade et la toiture, au niveau des planchers intermédiaires, des murs de refend, des dalles de balcon et de la jonction entre la façade et le plancher bas. Avec une isolation par l'extérieur, la principale source de ponts thermiques se situe au niveau de la dalle de balcon. Il faut des dispositions spécifiques et complexes à mettre en œuvre pour éliminer les ponts thermiques à cet endroit. Il convient également de traiter avec soin les jonctions entre la façade, le plancher bas et la toiture.
Pour une construction en isolation répartie, le principal point noir reste la dalle de balcon. La liaison entre la façade et le plancher bas reste problématique et nécessite un traitement. Il en va de même pour les constructions avec mur manteau ou double mur.
Les constructions en bois ne présentent pratiquement pas de ponts thermiques. Seule la liaison entre le plancher bas et la façade est à traiter.
Une fois que les ponts thermiques sont identifiés, il convient de les traiter pour tenter de les éliminer ou de les réduire de façon sensible.

La jonction entre plancher sur terre-plein et façade

En règle générale, le plancher sur terre-plein est isolé en sous-face. En construction classique avec isolation par l'intérieur, un pont thermique important se situe dans l'épaisseur de la dalle (figure 50). Pour le réduire sensiblement,

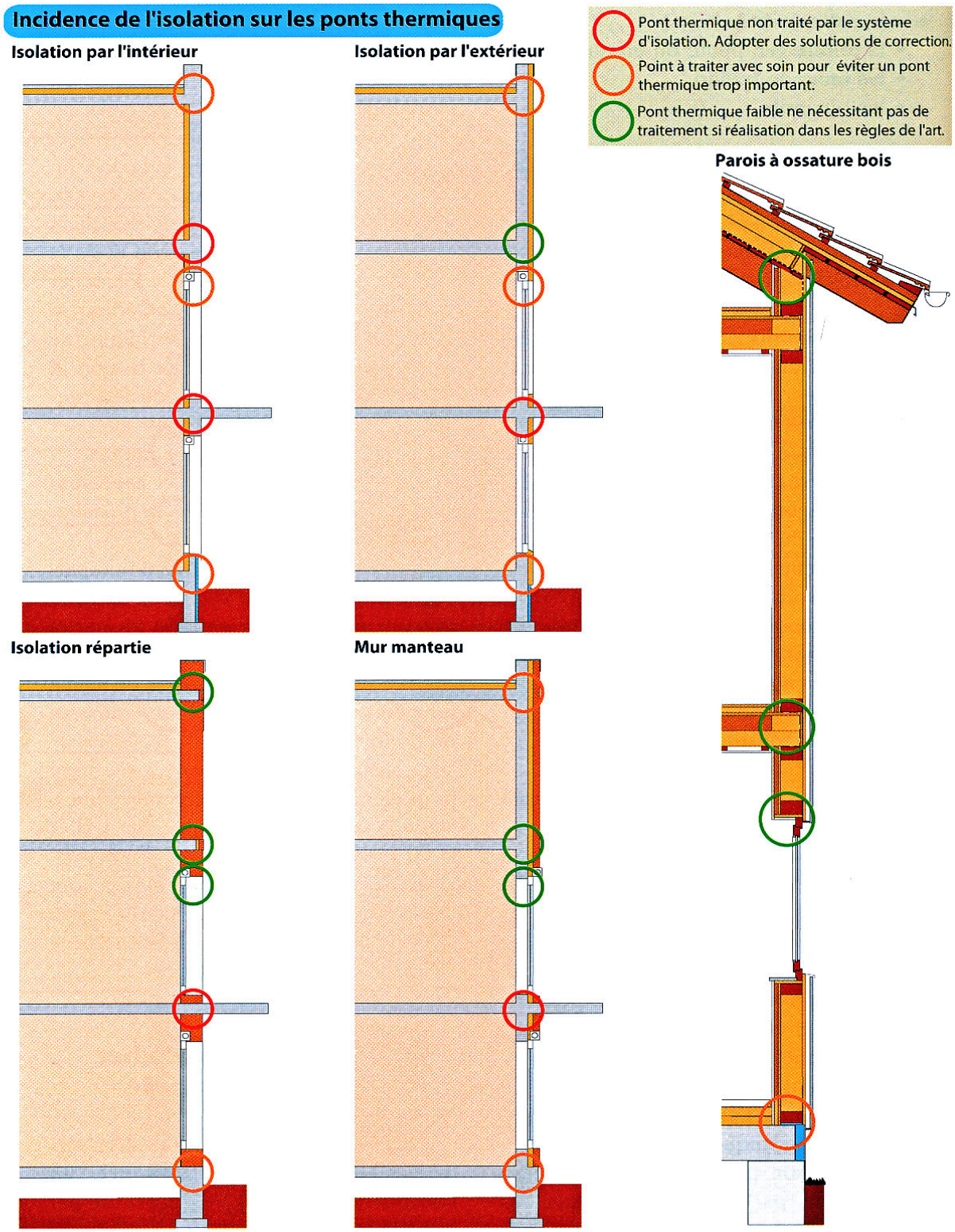


Figure 49 : L'incidence de l'isolation sur les ponts thermiques

Jonction plancher sur terre-plein et façade

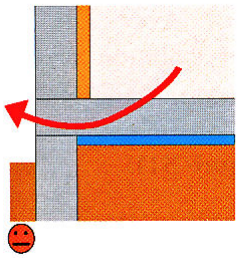
Valeur du pont thermique :

- Ψ supérieur à 1 W/m.K
- Ψ compris entre 0,5 et 1 W/m.K
- Ψ compris entre 0,2 et 0,5 W/m.K
- Ψ de 0 à 0,2 W/m.K

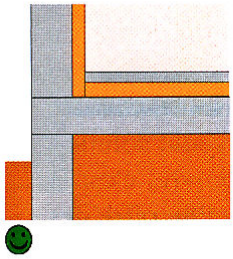
Flux thermique

Isolation par l'intérieur

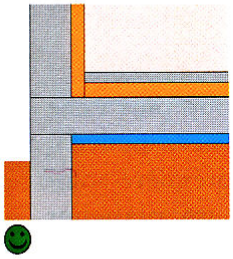
Principe constructif



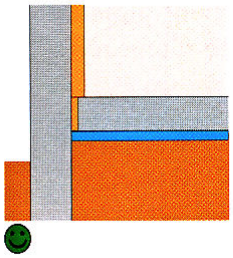
Améliorations
Chape flottante



Chape flottante + isolation sous dalle

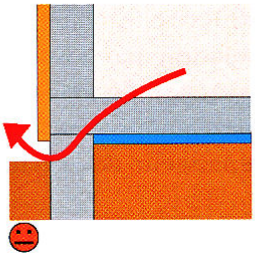


Dalle désolidarisée

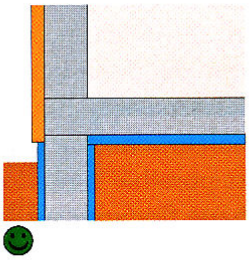


Isolation par l'extérieur

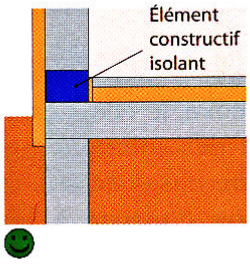
Principe constructif



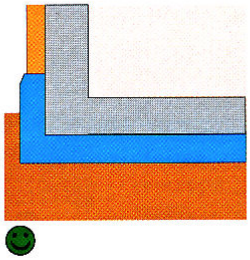
Améliorations
Isolation des fondations



Chape flottante + élément isolant en pied de mur

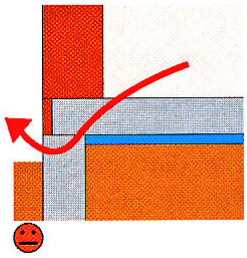


Isolation sous radier

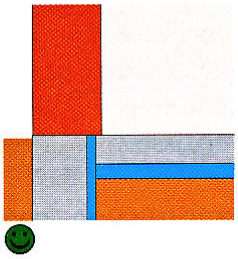


Isolation répartie

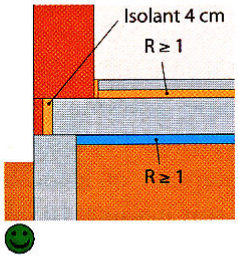
Principe constructif



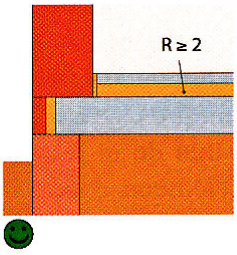
Améliorations
Dalle désolidarisée



Chape flottante + planelle + isolant

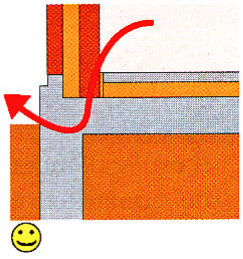


Chape flottante à isolation renforcée

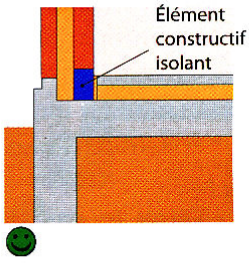


Double mur

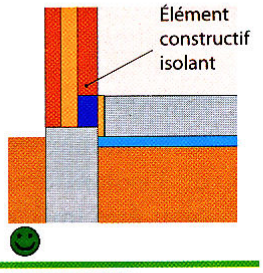
Principe constructif



Améliorations
Ajout d'un élément constructif isolant



Dalle désolidarisée



Maison bois

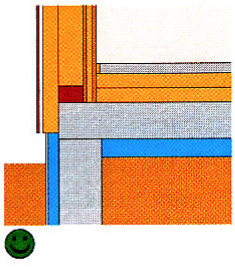


Figure 50 : La jonction entre plancher sur terre-plein et façade

il est nécessaire de créer une chape flottante ou d'adopter la technique constructive du dallage désolidarisé.
Dans le cas d'une isolation extérieure, le pont thermique sera également important à cet endroit si aucune disposition n'est prise. Pour profiter pleinement des avantages de l'isolation extérieure, il convient d'isoler la partie basse des fondations de façon à rallonger le parcours du flux de chaleur.

Il est également possible, dans un projet de construction neuve, de placer des éléments constructifs isolants au pied des murs de façade. Couplés à une dalle flottante, ils formeront une barrière efficace contre les ponts thermiques. Si le terrain le permet, il existe un autre principe constructif très efficace. Il s'agit de placer un isolant incompressible sous un radier constitué d'une dalle épaisse.

Dans le cas d'une construction avec isolation répartie, les ponts thermiques existent aussi à cet endroit. La dalle désolidarisée est alors un bon choix pour les éliminer, ainsi que l'emploi d'une planelle plus un isolant en nez de dalle en complément d'une chape flottante. Plus le monomur est large, plus l'épaisseur de l'isolant entre la planelle et la dalle peut être importante, soit jusqu'à 10 cm avec un monomur brique de 50 cm de largeur.

Pour une construction à double mur, si le plancher bas est surmonté d'une dalle flottante, le pont thermique est minime. Il est néanmoins possible de le réduire encore en plaçant des éléments constructifs isolants au pied de la paroi intérieure du double mur.
Pour une construction à ossature bois réalisée dans les règles de l'art, il ne doit pas y avoir de ponts thermiques notables au niveau de la dalle de fondation.

La jonction entre plancher sur local non chauffé et façades

Ce cas concerne les planchers sur vide sanitaire ou sur sous-sol. Avec une isolation par l'intérieur et isolation du plancher en sous-face, un pont thermique important est créé au niveau de l'épaisseur de la dalle (figure 51).

Le pont thermique peut atteindre 0,70 W/m.K avec une dalle en béton de 20 cm et des murs d'une épaisseur de 15 à 30 cm.
En rénovation, le traitement de ce type de pont thermique n'offre guère d'alternative. Pour réduire le flux de chaleur, dans ce cas, une seule solution est possible à mettre en œuvre, c'est la chape flottante sur isolant. Elle offre des performances appréciables puisqu'elle permet de réduire le pont thermique à 0,23 W/m.K.

Dans le cas d'un projet de construction neuve, le choix est beaucoup plus vaste et des solutions très efficaces peuvent être mises en œuvre. La première solution consiste à réaliser un plancher avec entrevous isolants à languettes. La performance reste cependant limitée (0,30 W/m.K). Il convient alors de réaliser une chape flottante d'une résistance thermique R supérieure ou égale à 2 m².K/W pour obtenir des performances très satisfaisantes.

La meilleure solution consiste à opter pour des rupteurs de ponts thermiques. Ils assurent une liaison mécanique et isolante entre le plancher et la paroi verticale. Ils

Jonction plancher sur sous-sol ou vide sanitaire et façade

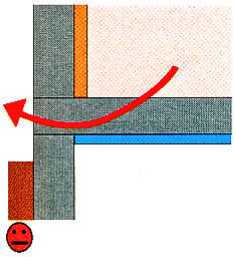
Valeur du pont thermique :

- ☹ Ψ supérieur à 1 W/m.K
- 😐 Ψ compris entre 0,5 et 1 W/m.K
- 🙂 Ψ compris entre 0,2 et 0,5 W/m.K
- 😀 Ψ de 0 à 0,2 W/m.K

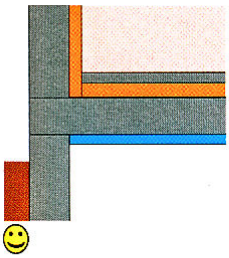
Flux thermique

Isolation par l'intérieur

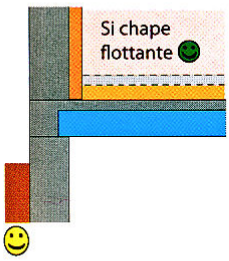
Isolation en sous-face



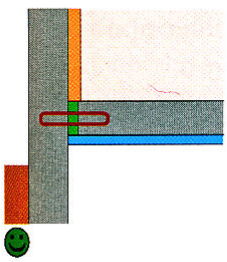
Chape flottante



Entrevous isolants

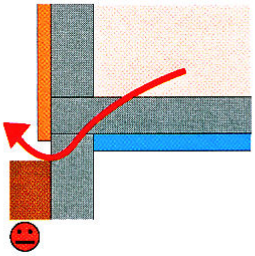


Rupteur de pont thermique

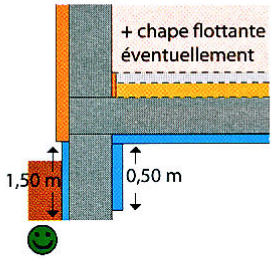


Isolation par l'extérieur

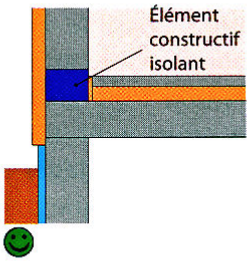
Isolation en sous-face



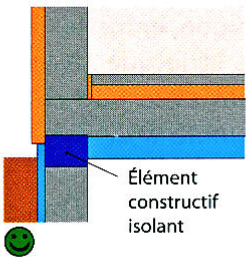
Isolation des fondations



Élément constructif isolant
Solution 1

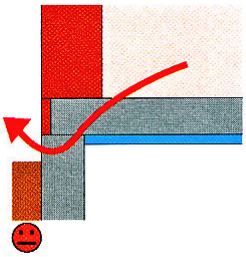


Élément constructif isolant
Solution 2

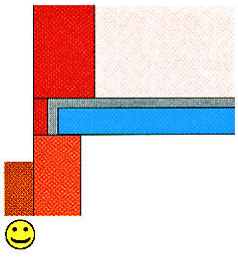


Isolation répartie

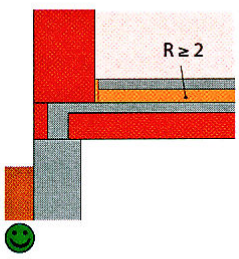
Isolation en sous-face



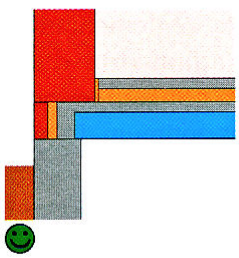
Entrevous isolants



Entrevous béton ou terre cuite

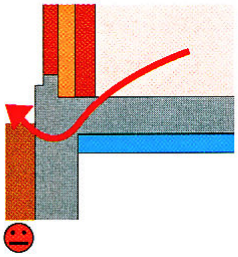


Entrevous isolants
+ chape flottante

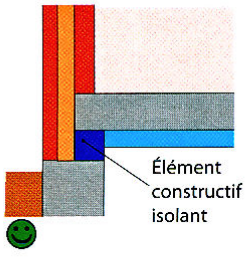


Double mur

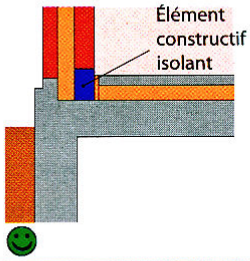
Isolation en sous-face



Élément constructif isolant



Élément constructif isolant
+ chape flottante



Maison bois

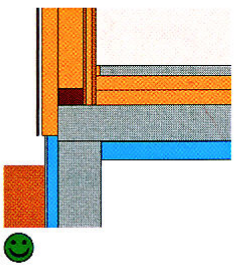


Figure 51 : La jonction entre plancher sur sous-sol ou vide sanitaire et façades

permettent d'atteindre des valeurs de 0,2 à 0,14 W/m.K. Peu répandus en France, leur coût reste élevé et ils doivent avoir fait l'objet d'un avis technique.
Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, il demeure un pont thermique, à ce niveau de la construction, qui nécessite d'être traité. La solution la plus simple consiste à isoler les deux faces du mur de soubassement afin de rallonger le parcours du flux de chaleur. Il est possible et conseillé également de réaliser une chape flottante pour augmenter les performances.

Une solution efficace consiste à utiliser des éléments constructifs isolants. On réalise le premier rang, par exemple en béton ou en verre cellulaire ou avec des éléments spécifiques. Cette barrière peut également être réalisée en tête de mur de soubassement sous la dalle. Cette solution, couplée à une chape flottante, permet d'atteindre des valeurs de pont thermique inférieures à 0,14 W/m.K.

Dans le cas d'une construction avec isolation répartie (monomur), la seule réalisation d'une chape flottante permet d'atteindre des performances inférieures à 0,1 W/m.K, sur un plancher à entrevous en béton ou en terre cuite. Pour un plancher bas sur entrevous isolants, sans chape flottante, le pont thermique est inférieur à 0,30 W/m.K, ce qui respecte les limites de la réglementation. Dans ce cas aussi, l'adjonction d'une chape flottante reste conseillée pour obtenir un abaissement optimum du pont thermique.

Dans le cas d'une construction à double mur, deux solutions de traitement du pont thermique sont possibles, tout d'abord, en installant des éléments constructifs isolants sous la dalle associés à une isolation en sous-face. Les éléments constructifs isolants peuvent également être placés en pied du mur intérieur et associés à une dalle flottante.
Pour les maisons à ossature bois, si les règles de l'art ont été respectées, il ne doit pas exister de pont thermique entre le plancher bas et les murs de façade.

La jonction entre plancher intermédiaire et façades

Avec une isolation par l'intérieur, le pont thermique situé à ce niveau est une source importante de déperditions (figure 52). En effet, une dalle en béton et des murs en maçonnerie courants peuvent engendrer un pont thermique pouvant atteindre jusqu'à 0,97 W/m.K. L'ajout d'une planelle isolante en nez de dalle permet de réduire cette valeur à 0,72 W/m.K, ce qui demeure non satisfaisant et inférieur à la réglementation.
Dans une habitation existante, l'amélioration possible consiste à réaliser une dalle flottante au niveau supérieur et un plafond isolé au niveau inférieur. Dans un projet neuf, il est possible de choisir un plancher léger ou des rupteurs de ponts thermiques.

Avec une isolation par l'extérieur, il n'y a pratiquement pas de pont thermique entre le plancher intermédiaire et la façade (0,11 W/m.K avec un isolant avec une résistance thermique de 2 m^2.K/W).

Dans le cas d'une construction monomur, à double mur ou en bois, le pont thermique est également limité à cet endroit. Il ne nécessite pas de traitement particulier.

Jonction plancher intermédiaire/façade

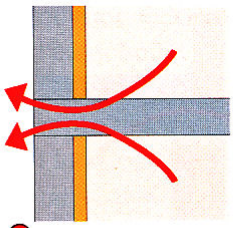
Valeur du pont thermique :

- Ψ supérieur à 1 W/m.K
- Ψ compris entre 0,5 et 1 W/m.K
- Ψ compris entre 0,2 et 0,5 W/m.K
- Ψ de 0 à 0,2 W/m.K

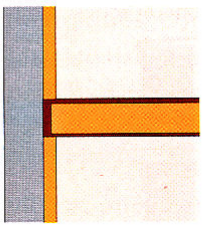
Flux thermique

Isolation par l'intérieur

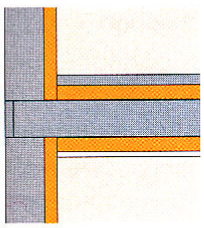
Principe constructif



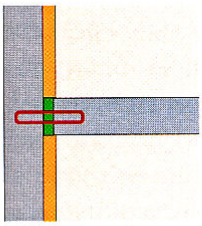
Améliorations
Plancher léger



Dalle flottante + faux plafond

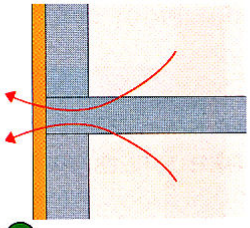


Rupteur de pont thermique

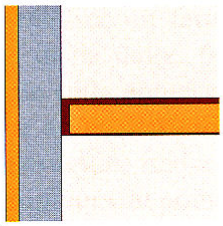


Isolation par l'extérieur

Principe constructif

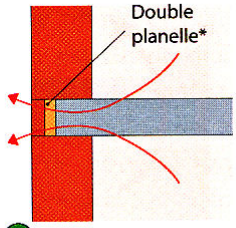


Autre conception
Plancher léger

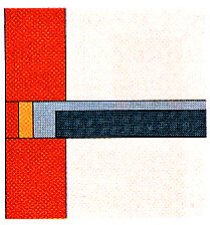


Isolation répartie

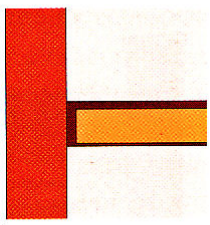
Principe constructif



Autre conception
Hourdis béton ou terre cuite



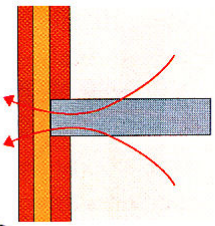
Plancher léger



* Double planelle uniquement avec les murs de forte épaisseur :
- isolant 4 cm avec mur de 30 cm ;
- isolant 5 cm avec mur de 37,5 cm ;
- isolant de 10 cm avec mur de 50 cm.

Double mur

Principe constructif



Maison bois

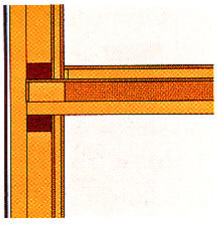


Figure 52 : La jonction entre plancher intermédiaire et façades

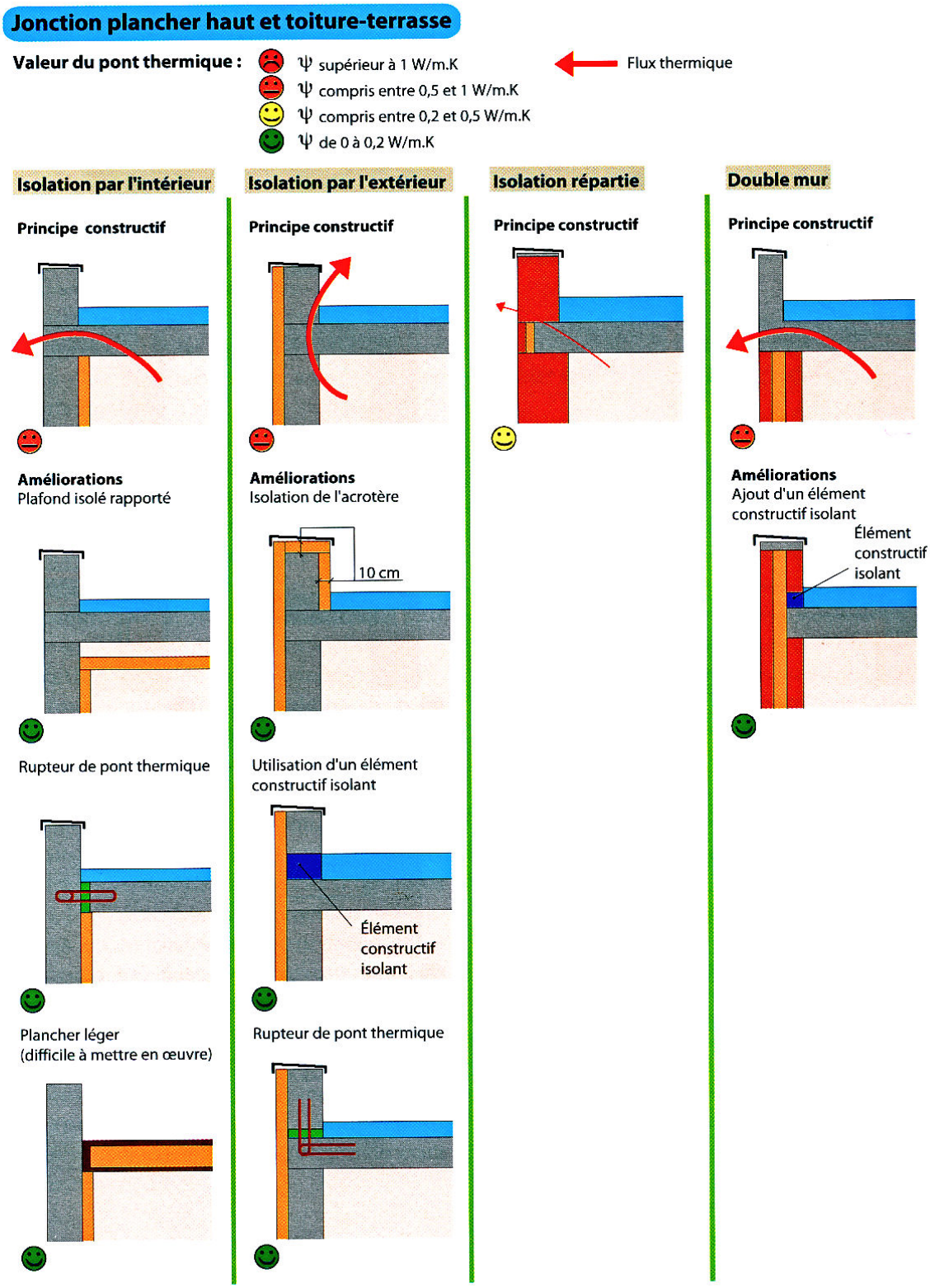


Figure 53 : La jonction entre plancher haut et toiture-terrasse

La jonction entre plancher haut et toiture-terrasse

Les toitures-terrasses doivent obligatoirement être isolées par l'extérieur (figure 53). En effet, une isolation par le dessous engendrerait des contraintes thermiques trop importantes et provoquerait des fissures et une rupture de l'étanchéité.

Si le reste de l'habitation est isolé par l'intérieur, des ponts thermiques apparaissent à la jonction entre le plancher haut et la toiture-terrasse. En rénovation, en plus de l'isolation supérieure de la dalle, la solution pour réduire ces ponts thermiques consiste à réaliser un faux plafond isolé et séparé de la dalle. Le principal inconvénient de cette solution est la perte de hauteur sous plafond. Dans un projet de construction neuve, on peut opter pour des rupteurs de ponts thermiques ou pour un plancher léger. Cette dernière solution est cependant à éviter car l'étanchéité est alors plus difficile à réaliser.

Si l'isolation de l'habitation est réalisée intégralement par l'extérieur, il convient de traiter également ce point. La solution courante consiste, en rénovation, à isoler l'acrotère afin d'assurer une isolation continue de l'habitation.
Dans un projet de construction neuve, la solution idéale est d'utiliser des éléments constructifs isolants en pied d'acrotère ou des rupteurs de ponts thermiques.
Pour une construction à isolation répartie, le pont thermique à ce niveau demeure acceptable et n'a pas besoin d'être traité.
En cas de double mur, la réduction du pont thermique est possible par l'emploi d'éléments constructifs isolants en pied d'acrotère, côté mur intérieur.

La jonction entre une toiture inclinée et les façades

Plusieurs cas de figure sont possibles à cet endroit (figure 54). En isolation par l'intérieur, si les combles sont non aménageables et le plancher haut à structure légère, il n'y a pas de pont thermique. Si le plancher est lourd, le pont thermique est du même type que dans le cas d'une toiture-terrasse, et les remèdes similaires.
Si les combles sont aménagés, il est nécessaire de respecter la continuité de l'isolation entre les murs et la toiture inclinée.
En isolation par l'extérieur, avec un plancher lourd ou léger, le pont thermique est de faible valeur si l'on assure la continuité avec l'isolation sur le plancher.
Pour des combles habitables, il faut veiller à assurer la continuité de l'isolation entre les deux parois.

En isolation répartie, avec des combles aménageables et un plafond léger, il convient d'isoler la partie supérieure des éléments monomurs. Le pont thermique est, dans ce cas, de seulement 0,03 W/m.K. Si le plancher est lourd, le cas de figure est le même que pour une toiture-terrasse avec isolation répartie. Si les combles sont habitables, l'isolant de la toiture doit être relié à la partie supérieure des éléments monomurs.

Pour une construction à double mur, l'isolant situé dans la coulisse doit former une jonction avec l'isolant du plancher de comble ou de la toiture inclinée.
Pour une maison en bois réalisée dans les règles de l'art, il ne doit pas y avoir de pont thermique à cet endroit.
Dans tous les cas, il convient de recouvrir la panne sablière.

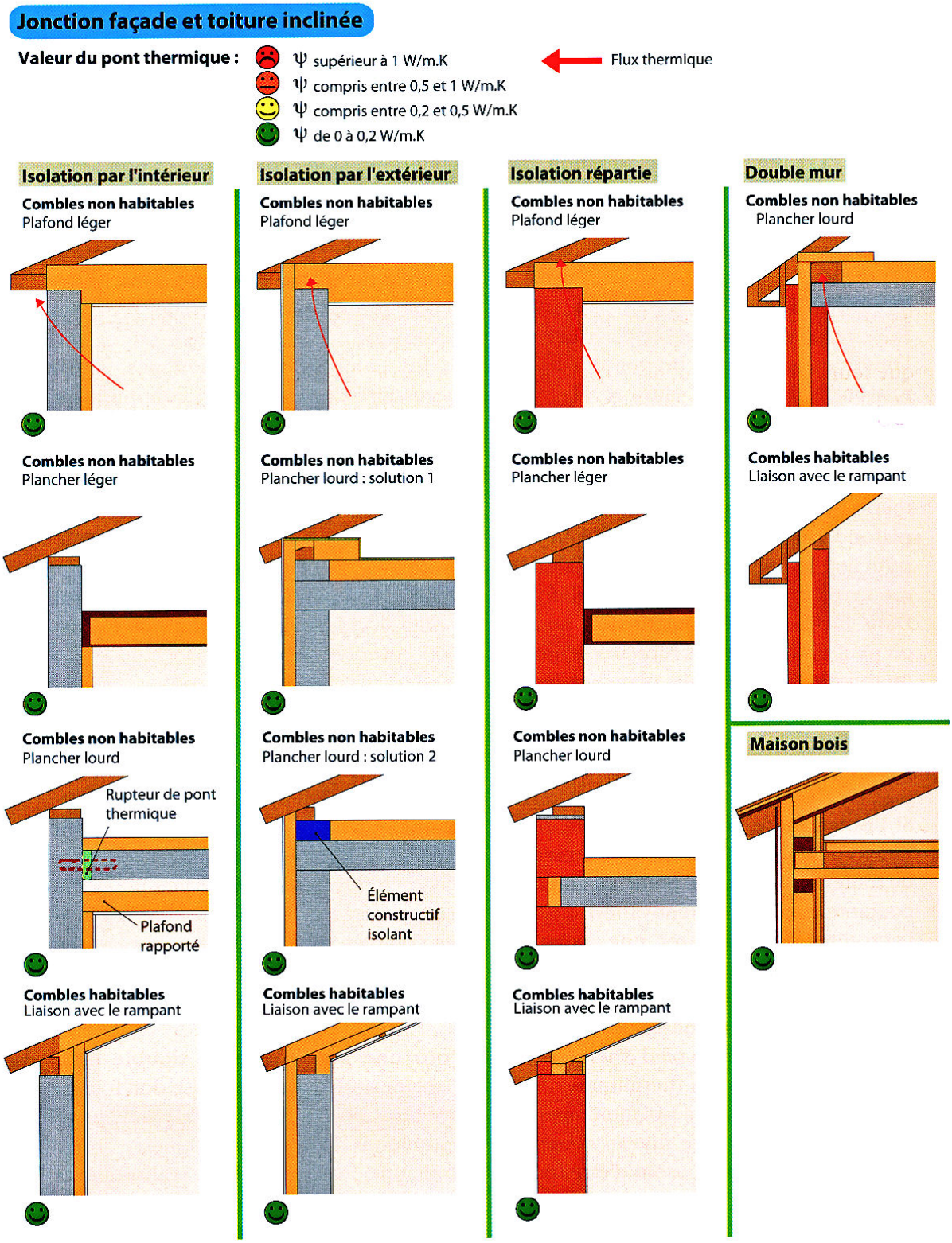


Figure 54 : La jonction entre une toiture inclinée et les façades

Les jonctions avec les menuiseries

Pour éviter les ponts thermiques au niveau des ouvrants (figure 55), il est primordial que l'isolation vienne en contact avec le dormant. Si la réalisation est faite dans les règles de l'art, il n'est pas nécessaire de traiter les ponts thermiques. En isolation par l'intérieur, les menuiseries doivent être posées en applique au nu intérieur des murs afin que leurs côtés joignent avec l'isolation. En isolation par l'extérieur, la solution la plus simple consiste à poser la menuiserie en applique extérieure du mur. Il est également possible de l'installer dans l'ébrasement ou en feuillure intérieure si la continuité de l'isolation thermique est respectée au niveau des tableaux, du linteau et de l'appui.

En isolation répartie et en construction bois, il n'y a pas de problème particulier puisque la menuiserie est en contact avec le matériau isolant, quelle que soit sa position.
Pour une construction à doubles murs, les menuiseries doivent être installées au niveau de la coulisse, dans le prolongement de l'isolant.

Les jonctions entre planchers avec balcons et façades

Dans ce cas de figure (figure 56), le pont thermique est inévitable et important, quel que soit le type de construction. Le balcon constitue alors un véritable radiateur créant un flux de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur. Pour éviter ce problème, le balcon doit être désolidarisé de la dalle, à la conception, par exemple par un système léger sur consoles. Dans un projet neuf, la meilleure solution est l'emploi de rupteurs de ponts thermiques.

Dans l'existant, il n'y a guère de solution satisfaisante. En isolation par l'intérieur, on peut réaliser une chape flottante et un faux plafond isolé en sous-face. Malheureusement, cette solution n'est pas possible en cas de plancher chauffant. En isolation par l'extérieur, il faut habiller entièrement la structure du balcon, ce qui pose un réel problème. Des solutions assez complexes à mettre en œuvre mais efficaces sont la transformation des balcons en vérandas ou loggias fermées au moyen de vitrages isolants adaptés ou de se tourner vers des solutions minces en PIV (panneaux isolants sous vide).

Les angles et les refends

Quel que soit le principe constructif ou le type d'angle, rentrant ou sortant, le pont thermique engendré est suffisamment faible pour ne pas nécessiter de traitement particulier (il est inférieur à 0,1 W/m.K pour un monomur terre cuite). Un mur de refend intérieur ne nécessite pas non plus de traitement si l'isolation est réalisée par l'extérieur ou répartie. Par contre, si l'on isole par l'intérieur, un pont thermique important est créé au niveau des murs de refend (figure 57).
Par exemple, pour un mur de façade en parpaings de 20 cm d'épaisseur et un mur de refend dans le même matériau et de même épaisseur, le pont thermique est compris entre 0,5 et 1 W/m.K. Pour y remédier, on peut créer des murs de refend en maçonnerie isolante, isoler le mur de refend sur ses deux faces ou créer un refend léger isolé (cloison avec laine minérale).

Jonctions avec les menuiseries

Valeur du pont thermique :

- Ψ supérieur à 1 W/m.K
- Ψ compris entre 0,5 et 1 W/m.K
- Ψ compris entre 0,2 et 0,5 W/m.K
- Ψ de 0 à 0,2 W/m.K

Flux thermique

Isolation par l'intérieur

Appui coupe verticale

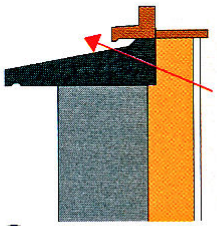
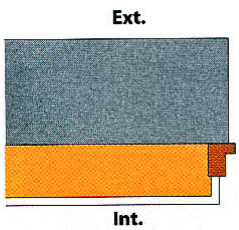
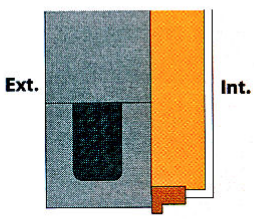


Tableau coupe horizontale

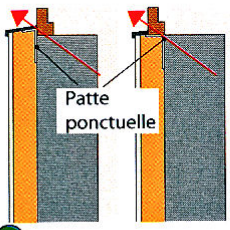


Linteau coupe verticale



Isolation par l'extérieur

Appui solutions 1 et 2



Appui solutions 3 et 4

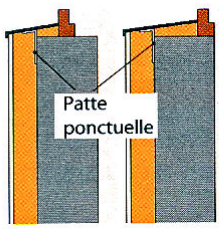
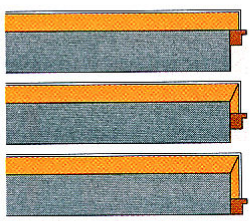
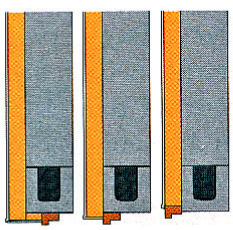


Tableau coupe horizontale
Différentes solutions

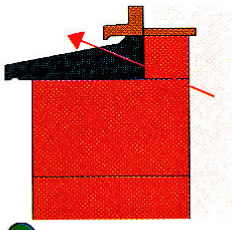


Linteau coupe verticale
Différentes solutions



Isolation répartie

Appui coupe verticale 1



Appui coupe verticale 2

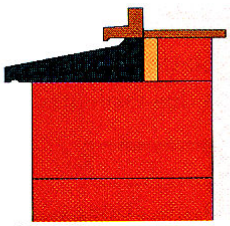
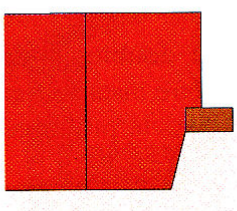
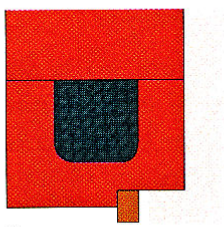


Tableau coupe horizontale



Linteau coupe verticale



Double mur

Appui coupe verticale

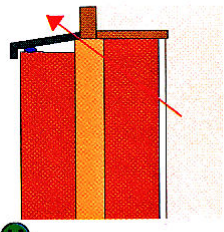
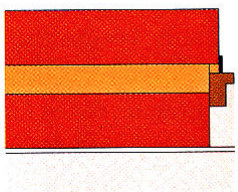
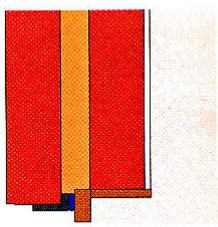


Tableau coupe horizontale



Linteau coupe verticale



Maison bois

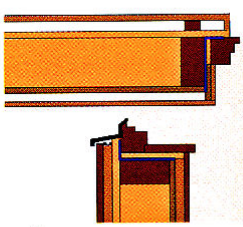


Figure 55 : Les jonctions avec les menuiseries

Jonction plancher avec balcon et façade

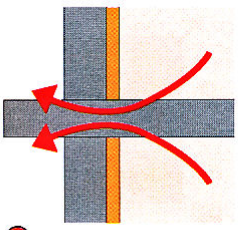
Valeur du pont thermique :

- ψ supérieur à 1 W/m.K
- ψ compris entre 0,5 et 1 W/m.K
- ψ compris entre 0,2 et 0,5 W/m.K
- ψ de 0 à 0,2 W/m.K

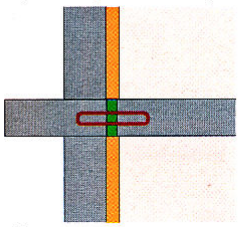
Flux thermique

Isolation par l'intérieur

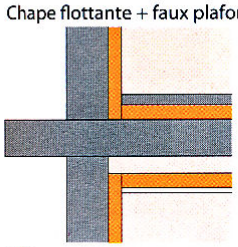
Principe constructif



Améliorations
Rupteur de pont thermique

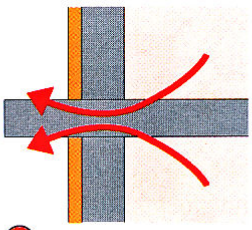


Chape flottante + faux plafond

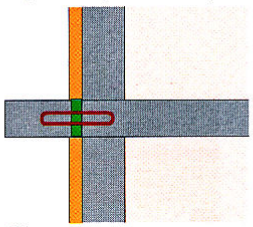


Isolation par l'extérieur

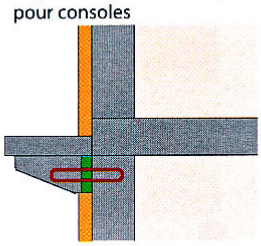
Principe constructif



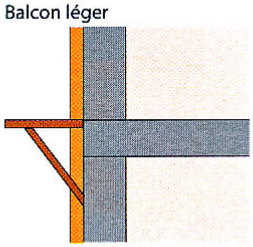
Améliorations
Rupteur de pont thermique



Rupteur de pont thermique pour consoles

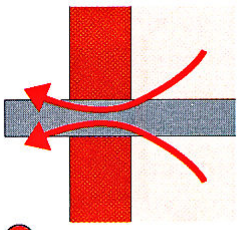


Balcon léger

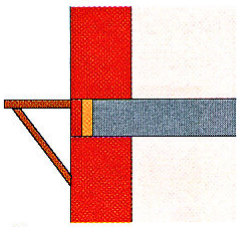


Isolation répartie

Principe constructif

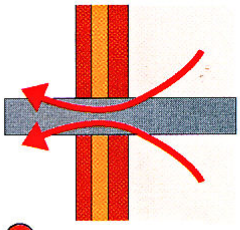


Amélioration
Balcon léger ou sur consoles



Double mur

Principe constructif



Amélioration
Balcon sur consoles

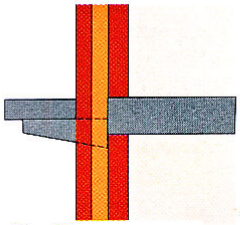


Figure 56 : Les jonctions entre les planchers avec balcons et façades

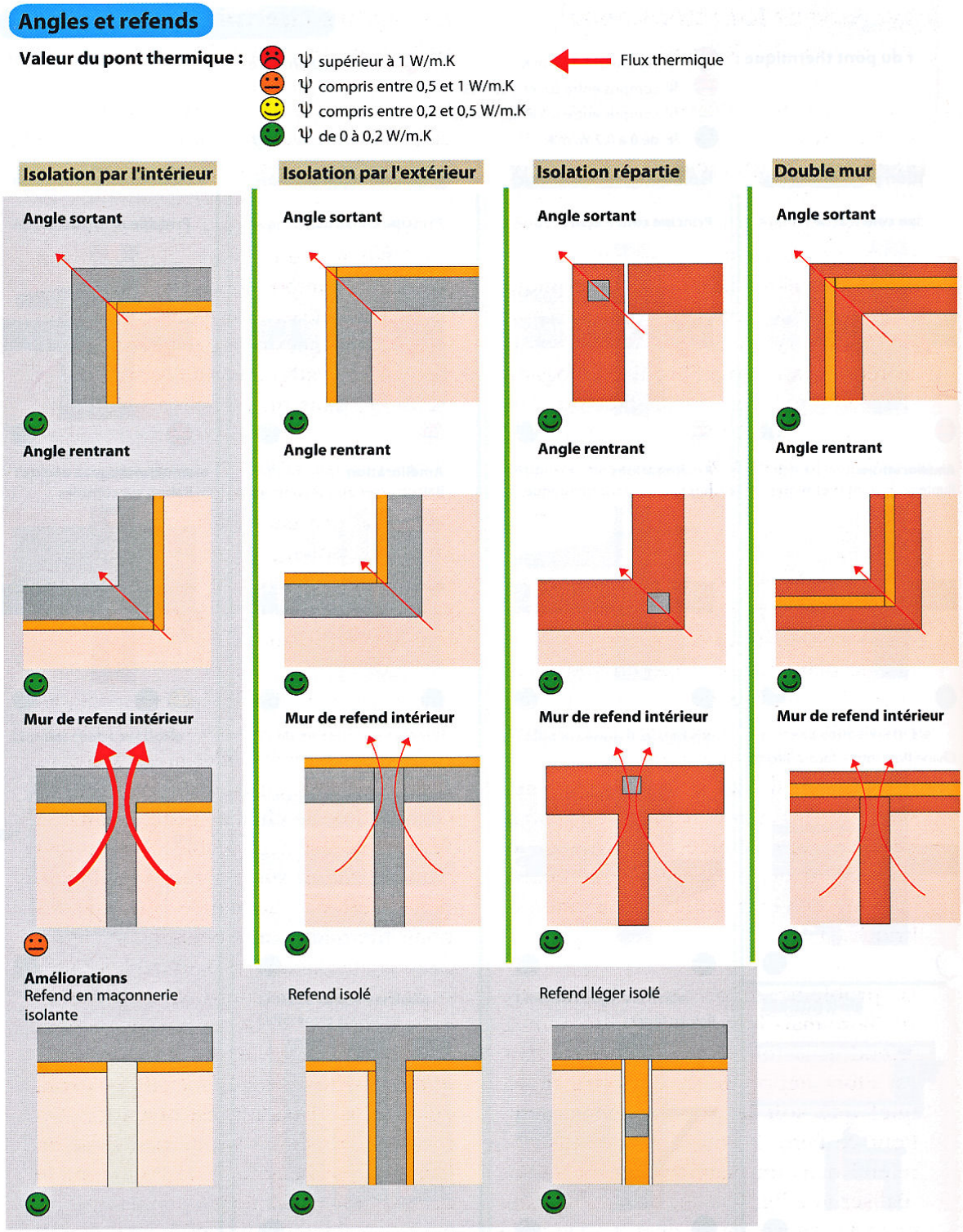


Figure 57 : Les angles et refends

Les autres jonctions avec les murs de refend

Des ponts thermiques importants existent aussi dans certains autres cas. Par exemple, un plancher avec poutres sur local non chauffé doit être pris en compte (figure 58). Que le plancher soit en béton, isolé en sous-face ou avec entrevous isolants, un flux thermique important s'échappe par la poutre (pont thermique d'environ 0,75 W/m.K). Pour le réduire au maximum, il est possible d'isoler la poutre, en sous-face du plancher, sur les trois côtés accessibles.
Si cela n'est pas possible, la chape flottante reste une solution au-dessus du plancher.

Si un mur de refend est situé au-dessous d'un sous-sol non chauffé, il y a aussi dans ce cas un pont thermique. Il se peut que le plancher soi isolé en sous-face, cependant un flux de chaleur persistera par le mur de refend. La chape flottante sur le plancher diminuera le pont thermique mais ne suffira pas à l'éliminer. Pour ne pas avoir de pont thermique dans ce cas de figure, seuls des matériaux constructifs isolants sont efficaces (béton ou verre cellulaire, monomur brique...).

Le problème se présente de manière similaire mais inversée entre un mur de refend et la toiture. Le pont thermique est alors important et doit être traité, quel que soit le principe constructif. Pour ce faire, il convient de réaliser le refend dans un matériau isolant, ou de réaliser une barrière en plaçant un rang en matériau isolant au-dessus de la dalle ou du plancher.

Les ponts thermiques intégrés ou ponctuels

Ces ponts thermiques sont très localisés et pratiquement inévitables puisqu'ils sont dus aux ossatures ou aux éléments de fixation des systèmes d'isolation. Ils dépendent également de la nature du matériau mis en œuvre. S'ils peuvent paraître peu importants dans certains cas, ils peuvent aussi lourdement détériorer les performances d'une habitation, si de mauvaises pratiques sont observées. Par exemple, dans un plancher avec entrevous isolants, les poutrelles en béton dégradent la résistance thermique de l'ensemble. Pour minimiser cet impact, on utilise des entrevous pourvus d'une languette isolante permettant de recouvrir la face inférieure des poutrelles. Cette solution peut être améliorée par une chape flottante.

Une isolation rapportée fixée mécaniquement crée autant de mini ponts thermiques qu'il y a de chevilles métalliques. La section de chaque cheville étant faible, chaque flux de chaleur reste minime et l'ensemble est négligeable. Dans le cas d'une isolation sur ossature métallique, il n'en est pas de même puisque des ponts thermiques apparaissent au niveau des appuis métalliques entre les lisses horizontales et les fourrures verticales. Il convient d'utiliser des appuis en matière plastique pour éviter les ponts thermiques. Plus les profilés métalliques sont épais, plus l'isolation est dégradée. On retrouve le même type de problème en isolation par l'extérieur. Si l'on emploie des ossatures métalliques pour la fixation des bardages ou des profilés métalliques pour le maintien et la fixation de l'isolant.

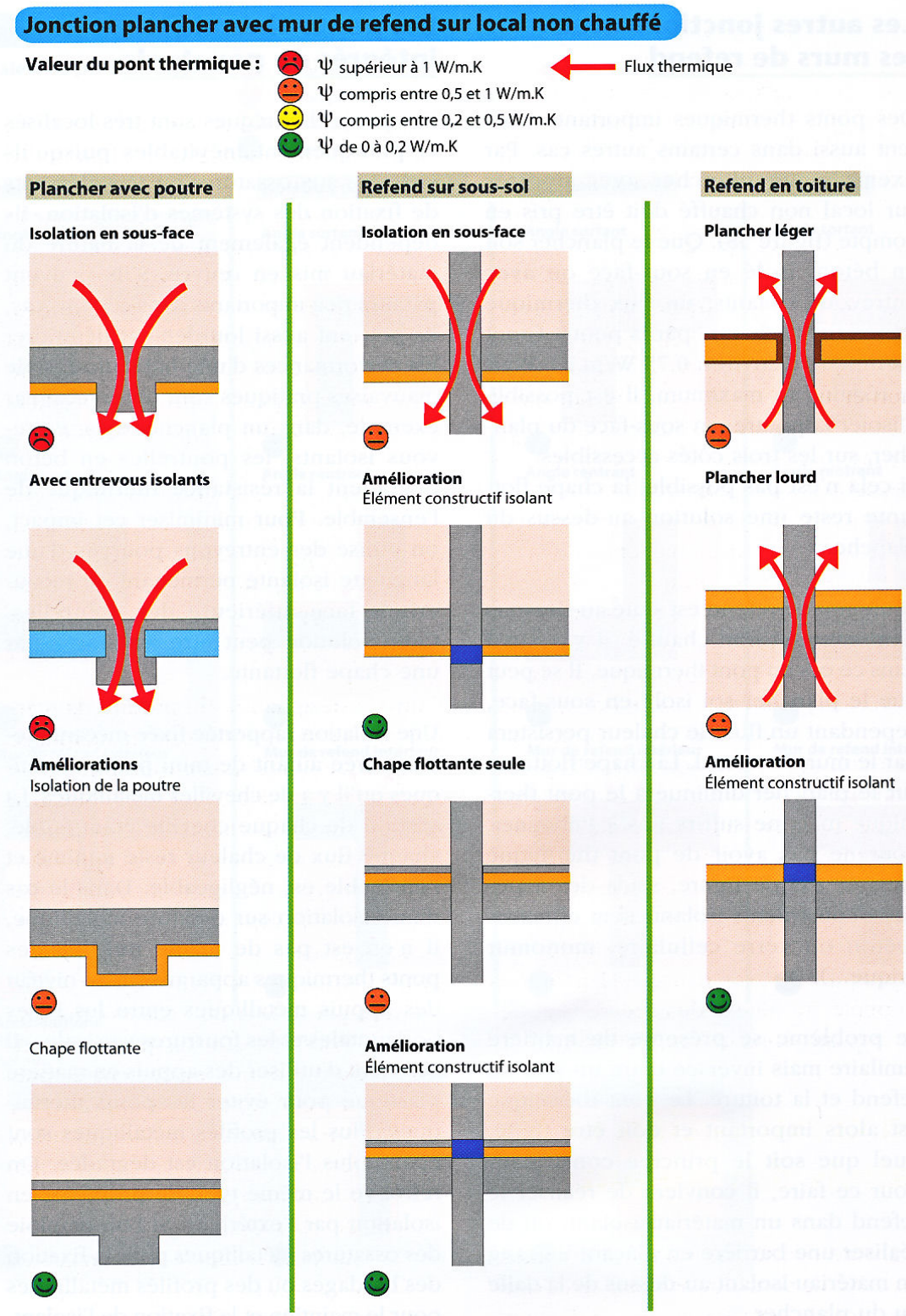


Figure 58 : Les jonctions entre murs de refend et locaux non chauffés

Il est préférable d'utiliser des lisses et des systèmes en bois ou en plastique.
Pour une construction à isolation répartie en béton cellulaire ou en briques, il est très important de respecter les règles de pose. Les ponts thermiques intégrés se situent, dans ce type de construction, au niveau des joints. Il est impératif d'utiliser la technique de maçonnerie à joints minces, ou roulée, afin d'assurer un ensemble compact et aussi homogène que possible. Le montage des murs au mortier traditionnel, outre le fait d'être plus contraignant à mettre en œuvre, dégraderait fortement les performances thermiques de la construction en créant un vaste maillage de ponts thermiques intégrés. Le bénéfice du choix d'un matériau isolant serait perdu.
Dans les constructions à ossature bois, l'isolant thermique est placé entre les montants en bois et pris en sandwich entre les parements intérieurs et extérieurs de la paroi. Des ponts thermiques sont créés par les montants en bois, qui n'offrent pas la même résistance thermique que l'isolant. Pour améliorer les performances (jusqu'à 15 %), on peut réaliser une isolation supplémentaire de chaque côté de la paroi afin d'englober les montants en bois. Le principe est identique en ce qui concerne les toitures en pente, au niveau des chevrons et des pannes qui doivent être recouverts.

La certification et les labels des isolants

Avant de choisir un isolant, il est indispensable de connaître ses caractéristiques thermiques (coefficient de conductivité thermique λ et résistance thermique) et environnementales.

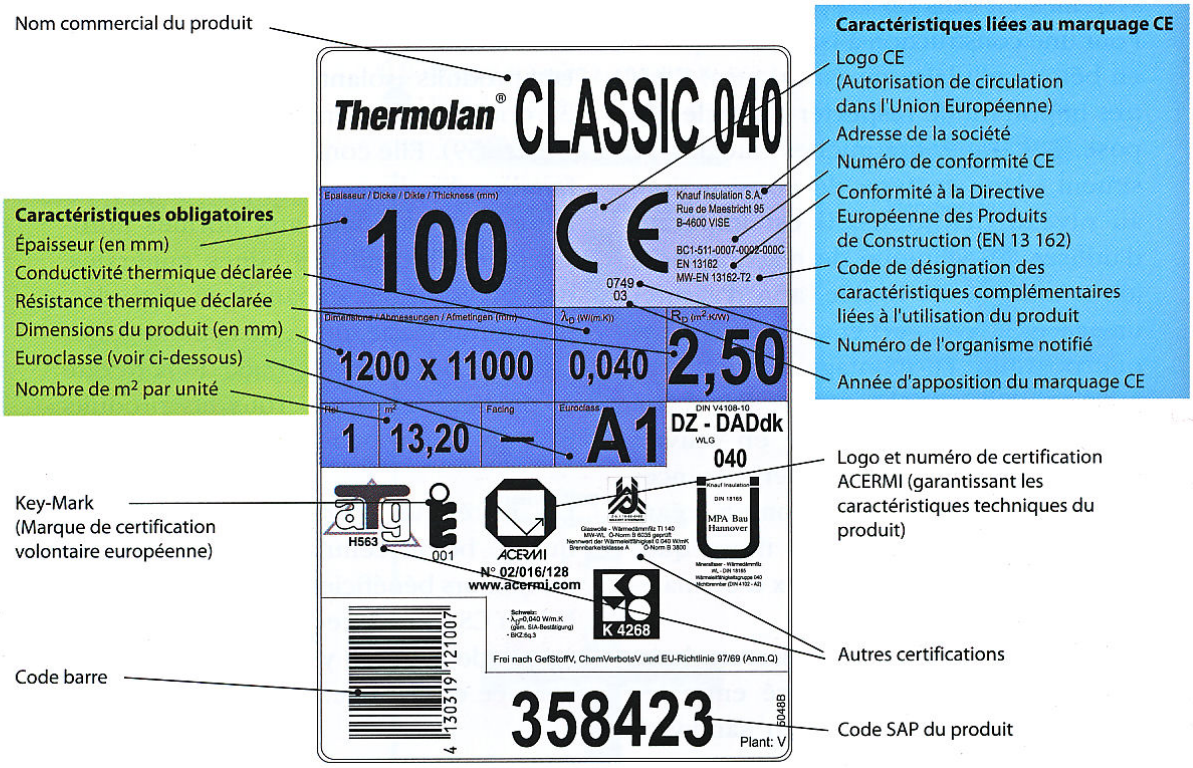
La certification des performances

Les produits isolants mis sur le marché européens disposent d'une étiquette CE (figure 59). Elle concerne les principales familles d'isolants manufacturés pour le bâtiment répondant aux normes européennes. Il s'agit des laines minérales, des polystyrènes expansés et extrudés, du polyuréthane, du verre cellulaire, des laines et des fibres de bois, de la perlite et du liège expansé. Tous les produits isolants seront peu à peu concernés.

Les matériaux d'isolation porteurs tels que le béton cellulaire ou les briques monomurs bénéficient d'une certification NF ou CSTB certified. La résistance thermique de la paroi, y compris le joint, est évaluée et certifiée.

Outre la désignation du produit, la marque et les données fabricant, le marquage CE indique la résistance thermique et le λ déclarés, les dimensions, la tolérance d'épaisseur et la classe de réaction au feu. D'autres mentions peuvent apparaître selon les types de produits comme les résistances à la compression, à la traction, au passage de l'air et l'absorption d'eau. Ces valeurs sont déclaratives, c'est-à-dire fournies par le fabricant sous sa responsabilité. Pour être sûr des performances d'un isolant, vérifiez également la présence sur l'étiquette de la certification ACERMI (Association pour la certification des matériaux isolants) ou Key-Mark (Europe). Ces marquages sont l'aboutissement de contrôles, par un organisme tiers, destinés à certifier les performances réelles du produit.
Les contrôles sont effectués périodiquement sur des prélèvements effectués en usine.

Étiquette CE des isolants



Euroclasses (réaction au feu)					
Classe	Contribution énergétique à la propagation d'un incendie	Classification complémentaire			
		Production de fumée		Chute de gouttes et débris enflammés	
A1	Incombustible	-	-	-	-
A2	Pratiquement incombustible	**S1**	Faible production de fumée	**d0**	Pas de gouttelettes/ particules enflammées
B	Résiste à une attaque prolongée des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme	**S2**	Production moyenne de fumée	**d1**	Gouttelettes/particules enflammées persistant moins de 10 secondes
C	Résiste à une attaque brève des flammes et d'un objet isolé ardent tout en limitant la propagation de la flamme				
D	Résiste à une attaque brève de petites flammes tout en limitant la propagation de la flamme et d'un objet isolé ardent	**S3**	Production importante de fumée	**d2**	Gouttelettes/particules enflammées persistant plus de 10 secondes
E	Résiste à une attaque brève de petites flammes en limitant la propagation de la flamme				
F	Aucune performance déterminée				

Figure 59 : Exemple d'étiquette CE pour un isolant

La certification ACERMI porte sur le pouvoir isolant caractérisé par la résistance thermique R. Celle-ci dépend du coefficient de conductivité du matériau λ (en W/m.K, figure 60) et de l'épaisseur de l'isolant e (en m) :
$R = e / \lambda$

Les caractéristiques qui déterminent l'aptitude à l'emploi d'un isolant portent sur cinq critères regroupés dans le terme ISOLE (figure 61) :
I : incompressibilité, classée de 1 à 5, ce dernier niveau étant le plus performant ;
S : stabilité dimensionnelle, classée de 1 à 4 ; les produits en vente sur le marché ont généralement une stabilité S3 ou S4 ;
O : comportement à l'eau, classé de 1 à 3 ;
L : limite des performances mécaniques à la traction, classé de 1 à 4 ;

Types d'isolant	**Conductivité thermique** (W/m.K)
Produits alvéolaires	
Matières plastiques alvéolaires	
Polystyrène expansé (PSE)	0,032 à 0,038
Polystyrène extrudé (XPS)	0,029 à 0,037
Mousse de polyuréthane (PUR)	0,022 à 0,027
Complexe de doublage (plâtre + PSE)	0,032 à 0,038
Complexe de doublage (plâtre + XPS)	0,029
Complexe de doublage (plâtre + PUR)	0,023
Verre cellulaire	0,038 à 0,055
Isolants minéraux	
Laine de roche	0,032 à 0,040
Laine de verre	0,030 à 0,040
Laine de verre à souffler	0,050
Complexe de doublage (plâtre + laine de verre)	0,034 à 0,035
Complexe de doublage (plâtre + laine de roche)	0,034 à 0,035
Argile expansée	0,10 à 0,16
Perlite	0,050 à 0,060
Vermiculite	0,060 à 0,080
Isolants à base végétale ou animale	
Chanvre	0,039 à 0,042
Lin	0,037 à 0,038
Liège expansé	0,032 à 0,045
Laine de mouton	0,035 à 0,042
Ouate de cellulose	0,035 à 0,045
Plumes de canard	0,033 à 0,042
Fibres de bois	0,035 à 0,049
Fibres de coco	0,037 à 0,040
Fibragglos	0,09 à 0,10
Laine de coton	0,037 à 0,040
Laine de bois	0,040 à 0,050
Paille	0,055
Éléments constructifs monomur	
Blocs de béton cellulaire	0,08 à 0,11
Blocs de terre cuite à alvéoles verticales vides	0,12 à 0,18
Blocs de terre cuite à alvéoles verticales isolées	0,08 à 0,09
Blocs de pierre ponce	0,09 à 0,18
Isolants à base d'aérogel	
Matelas d'aérogel	0,013
Panneaux isolants sous vide (PIV)	0,004 à 0,005

Figure 60 :
La conductivité thermique des produits isolants

Exemple d'étiquette ACERMI

CERTIFICAT ACERMI
4, avenue du Recteur Poincaré 75016 Paris

ISOLANT THERMIQUE MANUFACTURE DU BATIMENT

85 C 18005 4010

Caractéristiques et niveaux d'aptitude certifiés selon le Règlement Technique ACERMI

I	S	O	L	E	
					R = m^2 K/W

Classement ISOLE des isolants

I = Incompressibilité

Niveau	Domaine d'emploi
I1	Isolation non soumise à des charges
I2	CIII* sous chape ou dalle flottante, fond de coffrage, soubassement
I3	CII* sous chappe ou dalle, terre-plein
I4	CI* sous chape ou dalle, lambourde
I5	Pose directe de carrelage

S = Stabilité dimensionnelle

Niveau	Domaine d'emploi
S1	Isolation non enduite, non contre-collée
S2	Complexe de doublage
S3	Support d'enduit
S4	Support d'enduit

O = Comportement à l'eau

Niveau	Domaine d'emploi
O1	Combles et sous-faces de planchers
O2	Parois verticales et sols
O3	Support d'enduit

L = Limite des performances en traction

Niveau	Domaine d'emploi
L1	Tous les ouvrages
L2	Parois verticales et soubassements
L3	Complexes de doublage
L4	Support d'enduit

E = Comportement aux transferts de vapeur d'eau

Niveau	Domaine d'emploi
E1	Isolation extérieure, plancher de combles
E2	Rampant, mur par l'intérieur
E3	Rampant, mur par l'intérieur
E4	Isolation intérieure en zone froide
E5	Sandwiches

* : Les niveaux de compressibilités sont conformes aux DTU 26.1, 52.1 et 51.3

Figure 61 : Exemple d'étiquette ACERMI

E : comportement aux transferts de vapeur d'eau, classé de 1 à 5.

Ce classement ne tient pas compte de la tenue au feu du produit. Le classement ACERMI permet de déterminer aisément le domaine d'emploi des isolants (figure 62).

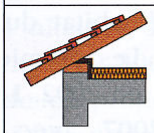
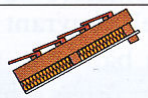
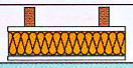
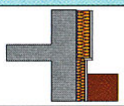
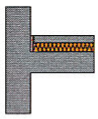
Choix des isolants selon les applications et leur certification Acermi							
Technique d'isolation	Schéma	Caractéristiques d'emploi et de la paroi	I	S	O	L	SC
Murs et parois verticales							
Isolation intérieure de parois lourdes		Mur de type II ou III avec isolant et contre-cloison	1	1	2	2	
		Mur de type I ou IV avec isolant et contre-cloison	1	1	1	2	
		Mur avec complexe isolant collé sur une plaque de plâtre	1	2	2	3	
		Mur avec autre complexe	1	2	2	3	
Isolation extérieure de parois lourdes		Isolant inséré dans un bardage rapporté, traditionnel	1	1	2	2	
		Isolant pour vêtures	2	4	3	4	
		Isolant pour vêtages	3	1	2	2	
		Isolant collé recouvert d'un enduit hydraulique mince armé	2	4	3	4	
		Isolant fixé mécaniquement et enduit mince armé	2	5	3	5	
Isolation incorporée de parois verticales		Isolant intégré dans un mur double	1	1	2	2	
		Isolant entre ossatures bois et parois légères	1	1 à 4	2	2	
		Isolant inséré dans un bardage double peau	1	1	2	2	
Toitures et combles							
Isolation en plancher de combles perdus		Isolant non recouvert posé sur un plancher de comble	1	1	1	1	
		Isolant recouvert par un plancher bois sur solives	1	1	1	1	
		Isolant posé sur un plancher lourd et recouvert de panneaux de répartition des charges	3	1	1	1	
		Isolant posé sur un plancher léger et recouvert de panneaux de répartition des charges	3	1	1	1	
Isolation en toiture inclinée ou plafond		Isolant en rampant sous petits éléments de couverture	1	1	1	1	
		Isolant en rampant sous couverture continue	1	1	1	1	
		Isolant rapporté sur toiture inclinée lourde	1	1	1	1	
		Isolant sur plafonds suspendus	1	1	1	1	
Planchers et soubassements							
Plancher sur terre-plein		Isolation verticale de fondations ou murs enterrés à la périphérie de terre-plein ; isolation intérieure ou extérieure utilisée en coffrage ou rapportée	2	1	3	3	
		Isolation de dallage sur terre-plein de maisons individuelles	3	1	2	2	
Plancher sur cave ou vide sanitaire		Isolation périphérique extérieure de soubassement	3	1	3	3	
		Isolation en sous-face de plancher fixée mécaniquement	1	1	1	2	
		Plancher sur vide sanitaire - isolation des murs par l'extérieur	2	1	3	3	
		Plancher sur vide sanitaire - isolation des murs par l'intérieur	2	1	3	3	
Chapes ou dalles		Revêtement de sol scellé avec mortier de pose mis en œuvre directement sur l'isolant					
		Sous charge d'exploitation ≤ 500 kg/m²	5	1	2	2	SC1a
		Sous charge d'exploitation ≤ 200 kg/m²	4	1	2	2	SC1b
		Chape ou dalle					
		Sous charge d'exploitation ≤ 500 kg/m²	3	1	2	2	SC2a
		Sous charge d'exploitation ≤ 200 kg/m²	2	1	2	2	SC2b
		Plancher chauffant à eau basse température	3	1	2	2	SC2a
		Plancher rayonnant électrique					
		Isolant plastique alvéolaire	4	1	2	2	
		Isolant laine minérale	3	1	2	2	
SC : classe de compressibilité des sous-couches isolantes.							

Figure 62 : Le choix des isolants selon leur certification

Exemple :
• Isolation intérieure de paroi lourde, avec protection par une contre-cloison : I1 – S1 – O2 – L2 – E3 ;
• Isolation extérieure de paroi lourde, protégée par un bardage rapporté : I1 – S1 – O2 – L2 – E1 ;
• Isolation fixée sur chevrons ou ossatures en rampant :
- 1re couche : I1 – S1 – O1 – L1 – E1,
- 2e couche avec pare-vapeur : I1 – S1 – O1 – L1 – E3 ;
• Isolation sous dallage, sur terre-plein compacté : I4– S1 – O2 – L2 – E1.

Les matériaux constructifs à caractère innovant ne rentrant pas dans le cadre d'une certification existante ou d'un DTU (document technique unifié) doivent faire l'objet d'un Avis technique délivré par le CSTB (Centre technique et scientifique du bâtiment), à la demande du fabricant, pour un produit donné. Cet Avis prend en compte les exigences réglementaires françaises ainsi que les objectifs de performance et de durabilité. Il indique également les conditions de mise en œuvre. Il existe également un Agrément technique européen (ATE) pour les produits ne bénéficiant pas de norme harmonisée, pour un usage déterminé et valable cinq ans.

Les labels écologiques

Les certifications techniques et la normalisation ne prennent pas ou peu en compte les critères environnementaux pour la classification des isolants. Dès lors, il est difficile de pouvoir évaluer leur impact écologique et de choisir en connaissance de cause les matériaux lorsqu'on souhaite un habitat sain et respectueux de la nature. Le fait d'isoler permet déjà de réduire sa facture énergétique, mais une démarche écologique consiste aussi à choisir des matériaux naturels et nécessitant peu de ressources pour leur fabrication. Ces produits peuvent désormais être identifiables et classables grâce aux nouveaux labels disponibles.

Le label **Natureplus** est né de l'initiative de distributeurs de matériaux de construction allemands sous la responsabilité de la fédération allemande du commerce. Différents labels écologiques dans le domaine du bâtiment ont été regroupés dans l'association internationale pour la construction et l'habitat durable Natureplus, en 2001. Les premiers produits ont reçu le label en 2002. Le label s'est développé en 2007, avec la création d'un référentiel couvrant trente sortes de produits du bâtiment. C'est l'unique label de qualité privé ayant atteint une position de premier plan sur le marché international.

Les produits sont certifiés Natureplus lorsqu'ils font la preuve de leur absence d'impact sur la santé, d'une fabrication écologique qui épargne au maximum les

ressources naturelles non renouvelables et d'une mise en œuvre facilitée. Les produits de construction doivent contenir au minimum 85 % de matières premières renouvelables ou minérales ou d'origine minérale pratiquement non épuisable.
Le cycle de vie du produit candidat est également pris en compte, ainsi que la visite du lieu de production par des contrôleurs. Des limites strictes en matière de consommation d'énergie sont imposées.

En l'absence d'équivalent français, il est intéressant de prendre l'exemple du label **R-symbol** allemand (figure 63). Lancée sur l'initiative du gouvernement allemand en 2002-2003, l'association en charge de ce projet (ARGE kdR) a mis au point un système permettant de classer rapidement et visuellement des produits manufacturés, notamment dans le bâtiment, pour connaître leur impact environnemental. Les objectifs sont multiples. Ils visent à prendre en compte la notion de protection de la santé, du consommateur, de l'environnement et à favoriser l'information et la formation sur le développement durable.

Le certificat délivré pour un produit se compose de la lettre R stylisée. Le logo est divisé en dix segments de trois couleurs possibles. Le vert indique la part d'énergies renouvelables dans la fabrication, le jaune indique la part de ressources minérales et le rouge celle de ressources fossiles. Le nombre de segments attribué à une couleur donnée indique le pourcentage utilisé, dans le

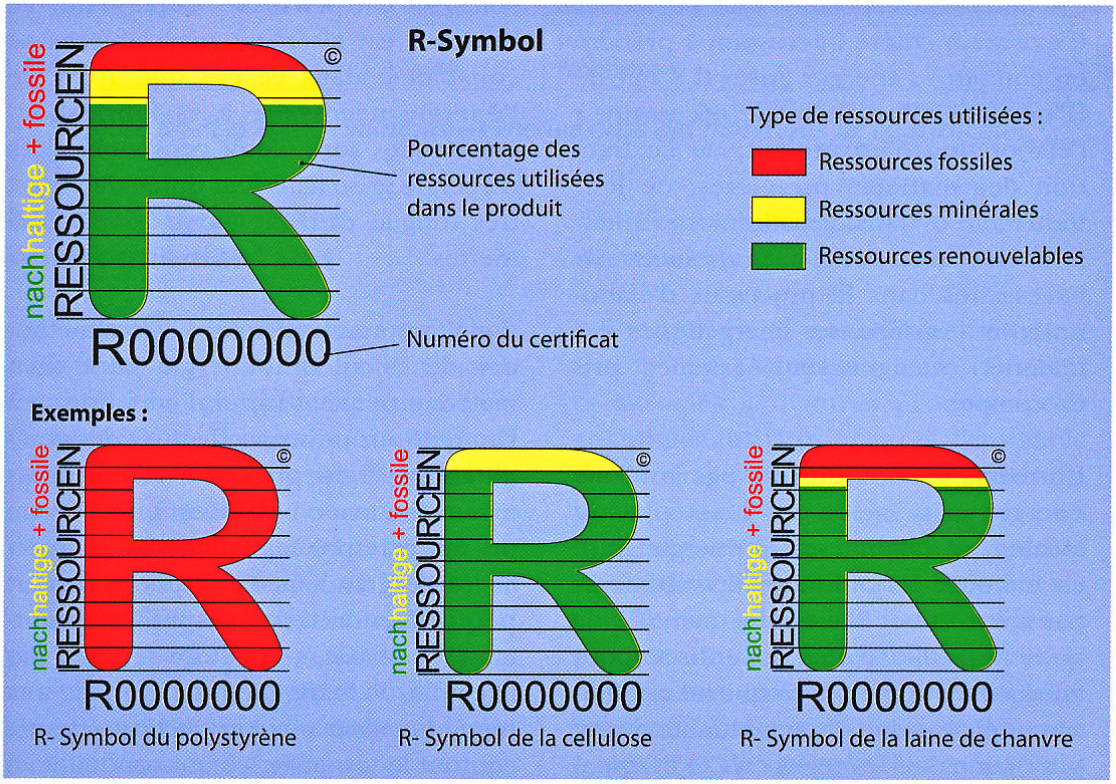


Figure 63 : Le R-symbol

matériau, de ressources correspondant à cette couleur. Par exemple, le polystyrène dispose d'un R-symbol entièrement rouge alors que celui du bois est entièrement vert. La cellulose possède neuf segments verts et un segment jaune, ce qui indique que ce produit est composé à 90 % de matières renouvelables et à 10 % de matières minérales.

L'énergie grise

La réglementation et la normalisation européennes vont se développer pour offrir peu à peu des critères de choix objectifs aux consommateurs en rapport avec leur préoccupation en matière de santé et d'impact sur l'environnement.
Pour vous aider à faire votre choix et savoir si le produit que vous projetez d'acheter est respectueux de la nature, il existe un critère intéressant à prendre en compte : l'énergie grise. Il s'agit de la quantité d'énergie totale nécessaire à l'élaboration d'un produit, de l'extraction des matières premières, de leur traitement et transformation jusqu'à leur mise en œuvre. Les transports successifs nécessaires dans le processus d'élaboration et les dépenses énergétiques des matériels et engins sont également pris en compte.

Un même matériau n'aura pas la même énergie grise selon qu'il est produit localement ou importé. L'énergie grise est indiquée en joules ou kilowattheures par mètre cube. Elle tend à quantifier la quantité réelle d'énergie utilisée pour fabriquer un produit, ce qui est un indicateur écologique important, notamment pour connaître les rejets en CO_2. Cependant, d'autres critères seraient à prendre en compte, comme la durée et le cycle de vie du produit et la possibilité de le recycler ou non. Le critère de l'énergie grise pris seul est peu significatif, notamment dans le bâtiment. Le raisonnement doit toujours se faire en terme d'écobilan. En effet, un matériau économe en énergie grise peu avoir une durée de vie courte et nécessiter de l'énergie pour son entretien ou son usage au cours de son cycle de vie pour finir comme déchet non recyclable. Inversement, un matériau peut être très consommateur d'énergie grise en début de vie mais pérenne, ne nécessiter aucun entretien et terminer son cycle comme matériau recyclable, biodégradable ou comme déchet inerte sans danger pour l'environnement.

Par exemple, l'aluminium sidérurgique est le matériau utilisé dans le bâtiment nécessitant la plus grande énergie grise, soit 195 000 kWh/m^3. Cependant, ce matériau est aisément recyclable et ne consomme dans ce cas que 10 % de l'énergie nécessaire à sa fabrication. Les briques sont plutôt consommatrices d'énergie grise mais leur durée de vie est très longue et deviennent des déchets inertes.

Il est important de noter que les méthodes de calcul de l'énergie grise d'un matériau peuvent varier d'un fabricant à l'autre. Pour pouvoir effectuer des comparaisons, il est préférable d'utiliser les mêmes sources. Les valeurs ne doivent pas être interprétées strictement mais par ordre de grandeur. Le facteur transport peut engendrer des disparités importantes, selon les pays et les régions. Par exemple, en France, les blocs bétons sont répandus avec une production répartie sur tout le territoire, ce qui conduit à un niveau d'énergie grise assez bas pour ce matériau.

Consommation d'énergie grise de divers matériaux de construction (en kWh/m³)	
Métaux	
Fer	25 000
Acier	63 000
Aluminium	195 000
Cuivre	133 000
Zinc titane	180 000
Murs	
Parpaing creux	410
Brique pleine	1 200
Brique de terre cuite perforée	700
Brique type monomur	675
Brique silico calcaire creuse	350
Brique silico calcaire de parement	500
Béton cellulaire	300
Béton 350 kg/m³	900
Béton armé	1 850
Béton	500
Béton léger (argile expansée)	450
Blocs de béton pleins	700
Enduits	
Enduit à la chaux	450
Enduit plâtre	700
Enduit ciment	1 100
Enduit synthétique	3 300
Couverture	
Tuile terre cuite	500
Tuile béton	1 400
Tuile fibrociment	4 000
Matériaux isolants	
Laine de verre	250
Laine de roche	150
Laine de chanvre	30
Laine de bois	13
Laine de mouton	55
Ouate et laine de cellulose	6
Cellulose de bois	50
Fibres de lin	30
Fibres de chanvre	40
Plumes	50
Argile expansé	300
Perlite / vermiculite	230
Liège expansé	80
Panneaux de fibre de bois tendre	1 400
Polystyrène expansé	450
Polystyrène extrudé	850
Polyuréthane	1 100
Verre cellulaire	1 600
Charpente	
Bois d'œuvre	180
Bois lamellé collé	2 200
Cloisons	
Plaque de plâtre cartonné	850
Bois aggloméré	2 200
Matières plastique	
PVC	13 000
Polypropylène	7 400

Figure 64 : Les consommations en énergie grise des matériaux de construction

Les caractéristiques environnementales

Les impacts des matériaux sur l'environnement sont multicritères. Comme indiqué, l'énergie grise est l'un d'eux. On pourrait aussi prendre en compte la consommation d'eau, la pollution de l'air, etc. C'est l'objectif du nouvel étiquetage destiné à accompagner la marque CE sur les produits. Fondé sur la base de données INIES (information sur l'impact environnemental et sanitaire), il tient compte de seuils permettant de définir ce qu'est un produit bon pour l'environnement ou considéré comme écoproduit ou écomatériau. L'étiquetage ne correspond pas à un label de qualité, il est destiné à informer sur les caractéristiques environnementales et sanitaires d'un produit.

Les matériaux de construction ont vocation à être incorporés à un bâtiment et associés à d'autres produits pour contribuer aux performances d'ensemble de l'ouvrage. Si seul l'ouvrage dans sa globalité peut être évalué pour ses performances environnementales, c'est à la phase de conception qu'il convient de choisir judicieusement les procédés et produits qui permettront d'atteindre la performance environnementale attendue pour ce bâtiment. Il est difficile voire impossible de dissocier les caractéristiques environnementales des produits de leurs caractéristiques techniques.

La base de données INIES s'adresse aux industriels, qui peuvent y inscrire leurs produits et les caractériser grâce aux FDES (fiches de déclaration environnementale et sanitaire). Il ne s'agit donc pas d'une base de produits à proprement parler écologiques puisque tout produit a vocation à apparaître dans cette base. C'est une aide permettant aux utilisateurs et aux prescripteurs de choisir les matériaux en fonction de critères environnementaux.

Le choix des isolants

Les matériaux de structure courants présentant des performances médiocres, largement insuffisantes pour respecter la réglementation thermique, le recours à des matériaux isolants s'impose dans la construction.
Pour réaliser une isolation thermique ou acoustique, différentes solutions et matériaux sont disponibles, selon les cas, construction ou rénovation. Lorsque l'isolation est réalisée indépendamment de la structure porteuse du bâtiment, elles est considérée comme rapportée.

Lorsque les éléments constructifs porteurs sont également isolants, l'isolation est dite répartie, ce qui implique des matériaux et des mises en œuvre différents de l'isolation rapportée. Ces deux modes d'isolation peuvent se combiner afin d'atteindre des performances élevées.
Les critères de choix d'un produit d'isolation dépendent de ses performances, de son épaisseur, de son domaine d'emploi, de son emplacement dans la construction, de son prix, de ses caractéristiques environnementales et de sa disponibilité. C'est pourquoi pour vous aider à choisir parmi ces nombreux critères, les prochains paragraphes seront consacrés plus précisément à la présentation des isolants que proposent les fabricants.

Les isolants rapportés

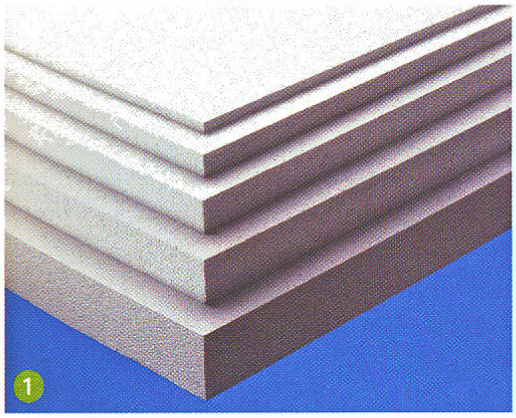
Les matériaux isolants rapportés se divisent en plusieurs catégories, dont les principales sont les matériaux fibreux et les matières cellulaires. Ils peuvent être issus d'une vaste gamme de matières premières, d'origine minérale, végétale, animale ou pétrochimique.
Dans la majorité des cas, le principe d'un matériau isolant consiste à emmagasiner la plus grande quantité possible d'air dans un maximum d'alvéoles. En effet, l'air immobile constitue le meilleur isolant thermique, après le vide. La nature et la structure des matériaux ont également un impact sur leurs performances thermiques ou acoustiques.

Les isolants synthétiques

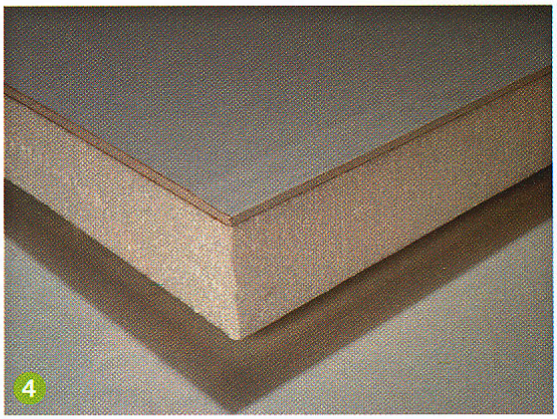
Ce sont des matériaux de synthèse produits par la chimie industrielle. Les matières plastiques forment un groupe important de matériaux qui se distinguent les uns des autres en fonction de la matière première employée et du mode de fabrication.

Le polystyrène expansé

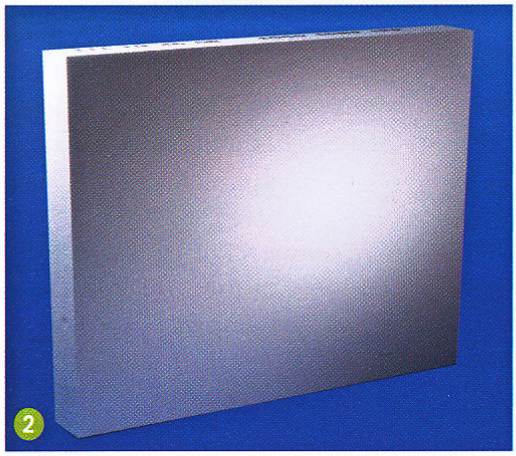
Le polystyrène expansé (PSE) (figure 65) est issu d'un dérivé de raffinage du pétrole, le naphta. Ce déchet est difficilement valorisable, cependant il permet d'obtenir des monomères de styrène, qui, après polymérisation aboutissent au



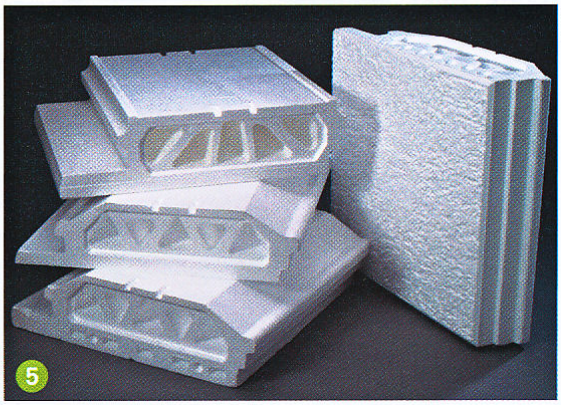
© Atlas Roofing



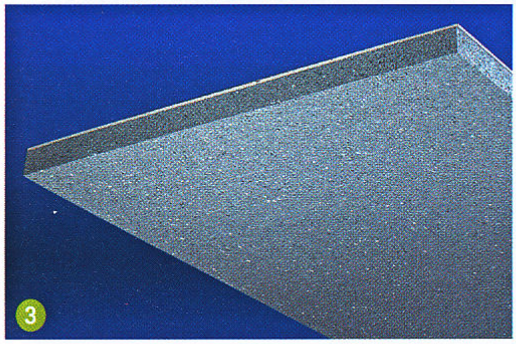
© Placo



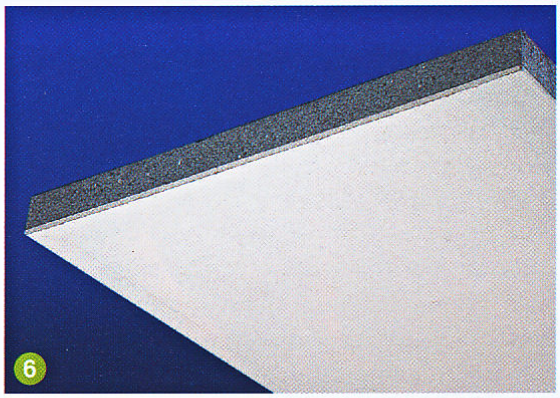
© Knauf



© Placo



© Knauf



© Knauf

1. Panneaux de polystyrène expansé
2. Panneau de polystyrène expansé pour l'isolation de contre-cloisons
3. Complexe de doublage avec PSE argent
4. Complexe de doublage avec PSE classique
5. Entrevous en PSE
6. Complexe de doublage thermo-acoustique en PSE élastifié

Figure 65 : Le polystyrène expansé

polystyrène expansible sous la forme de billes de petit diamètre (0,2 à 3 mm). La polymérisation s'effectue au moyen d'un mélange de gaz pentane, d'eau et de styrène. Le polystyrène est ensuite expansé et moulé grâce à de la vapeur d'eau qui a la propriété de dilater les billes jusqu'à 50 fois leur volume initial. Le polystyrène expansé est donc un matériau composé principalement d'air (à 98 %) et très léger avec une masse volumique comprise entre 10 et 30 kg/m^3.

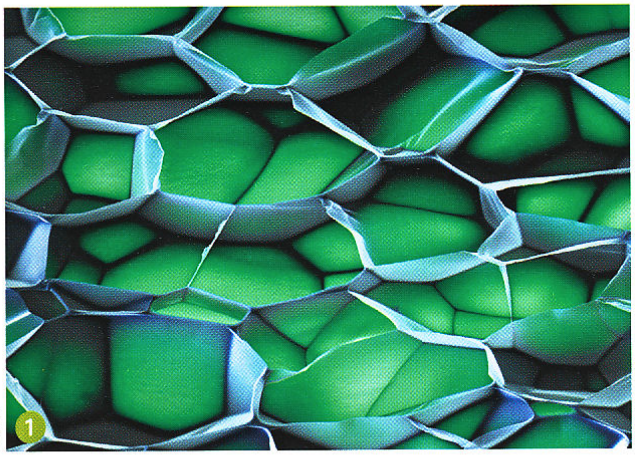
Il présente peu de risques pour la santé, lors de sa mise en œuvre ou dans le temps. Le pentane, nuisible pour l'ozone de l'atmosphère, est libéré en faible quantité et n'est pas toxique.
Le PSE est recyclable de plusieurs façons. Après broyage, il peut produire de nouveau du polystyrène expansé pour l'isolation ou les produits d'emballage. Après fusion, extrusion et mélange avec d'autres polymères, il sert à produire des objets en plastique rigide tels que les boîtiers de CD ou des couverts en plastique.

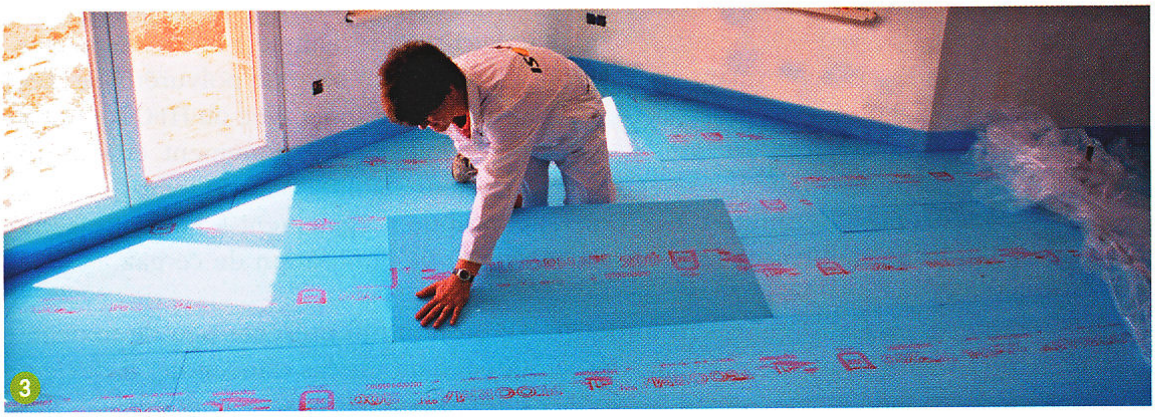
En cas d'incendie, le PSE libère du gaz carbonique, de la vapeur d'eau, du monoxyde de carbone et des suies. Utilisé comme isolant il est généralement associé à un autre matériau incombustible comme le plâtre. Lorsqu'il est destiné à rester apparent comme dans le cas des entrevous isolants, il est ignifugé.
Le polystyrène expansé est le plus souvent de couleur blanche. De nouveaux produits, de couleur argent, présentent des capacités thermiques améliorées grâce à l'adjonction de nanoparticules argentées ou de graphite dans la matrice polymère afin d'opacifier le produit fini (PSE Ultra Th). Cela permet de réduire sensiblement le rayonnement infrarouge thermique par absorption et réflexion. Le lambda est amélioré de 0,005 W/m.K. Ce type de polystyrène expansé atteint pratiquement les performances thermiques du polystyrène extrudé tout en étant moins dense et en utilisant moins de matière première pour sa fabrication. La conductivité thermique du PSE est donc comprise entre 0,032 et 0,038 W/m.K.
Si ses capacités thermiques sont bonnes, ses performances acoustiques sont médiocres. C'est pourquoi les fabricants ont mis au point des polystyrènes argentés plastifiés (PSE dB, PSE Ultra ThA) adaptés à l'isolation acoustique, offrant des performances nettement améliorées.

Le produit commercialisé se présente sous forme de plaques de complexe isolant avec plaque de plâtre, sous forme d'éléments découpés ou moulés (hourdis) ou en vrac (billes pour insufflation ou incorporation dans le béton).
Le PSE est peu perméable à la vapeur d'eau, assez instable dans le temps. Avec la chaleur peut s'opérer une perte de volume après plusieurs années. Il est sensible aux produits corrosifs et aux rongeurs.
Le PSE peut être utilisé pour l'isolation des murs par l'intérieur ou l'extérieur, des sols et de la toiture.

Le polystyrène extrudé

Le polystyrène extrudé (XPS) (figure 66) est issu du naphta comme le PSE. Après la polymérisation du styrène, est effectuée une extrusion sous pression. Elle consiste à faire fondre ensemble le polystyrène, les additifs et l'agent d'expansion et à extruder le liquide chaud dans une matrice. Il se produit alors une mousse, couverte d'une peau étanche à l'air, plus homogène et plus dense que





1 Cellules grossies de XPS 2 Panneaux de XPS à bords droits 3 Isolation pour chape flottante 4 Isolation d'une toiture par l'extérieur 5 Panneaux de XPS enduit pour support de carrelage

Figure 66 : Le polystyrène extrudé

par le procédé d'expansion. Les cellules sont très fines et fermées, ce qui donne un produit très résistant à l'eau et à la compression. Souvent un agent retardateur de flamme y est incorporé.

Avant 1995, le gaz d'expansion employé était du CFC, destructeur de la couche d'ozone, remplacé par le HCFC, moins destructeur mais également interdit en 2002 par l'Europe. Le HFC est depuis utilisé en remplacement, mais il s'agit d'un puissant gaz à effet de serre. Il existe désormais des polystyrènes extrudés au gaz carbonique ne renfermant que de l'air. Ils sont identifiés par la lettre N à la suite de leur nom commercial.

Les performances thermiques du XPS sont légèrement meilleures que celles du PSE (0,029 et 0,037 W/m.K). Sa masse volumique est aussi légèrement supérieure (30 à 40 kg/m^3). Il présente des performances médiocres comme isolant acoustique et ne doit pas être utilisé à cette fin. Il est étanche à l'eau et à la vapeur d'eau.

Selon les fabricants, il est commercialisé dans différentes couleurs (bleu, jaune, rose, beige, vert) sous forme de panneaux à bords lisses ou bouvetés. On l'emploie principalement pour l'isolation des sols et des toitures-terrasses, pour la technique de sarking, les murs doubles, derrière les contre-cloisons et pour les soubassements. Il convient pour les planchers chauffants.

La résistance mécanique du XPS en compression lui confère une bonne tenue dans le temps, sans tassement. Il résiste parfaitement aux cycles de gel et dégel. Il sert également comme support faïence avec une armature en fibre de verre.

Comme le polystyrène expansé, il doit être séparé de l'habitation par un matériau écran non combustible tel que le plâtre.

Les polyuréthanes

Les polyuréthanes (PUR) (figures 67 et 68) sont obtenus par le mélange de trois composants, un polyol, un isiocyanate et un agent d'expansion (HFC ou CO_2) en présence de catalyseurs. Il s'agit d'un matériau léger, puisque sa masse volumique est de 40 kg/m^3. Un retardateur de flamme est nécessaire dans les produits à base de polyuréthane. Les produits expansés avec du HFC sont plus performants thermiquement et conservent leur stabilité dans le temps mais ils contribuent également à l'effet de serre du fait de l'utilisation de ce gaz.

Le produit fini présente peu de toxicité. Cependant en cas d'incendie, il devient très dangereux puisque sont dégagés des isocyanates, du monoxyde de carbone et de l'acide cyanhydrique, ce qui rend obligatoire son emploi avec des matériaux écran ou pare-feu. De plus, sous l'effet d'une forte chaleur, les substances ignifuges incorporées lors de la fabrication, peuvent également dégager des gaz toxiques pour le système nerveux.

Les isolants en polyuréthane se présentent sous la forme de panneaux moussés entre deux feuilles de divers matériaux (kraft, aluminium, polyéthylène, voile de verre...) qui assurent l'étanchéité à l'air et la pérennité des performances thermiques. Le moussage est réalisé en continu entre les deux parements. L'expansion de la mousse s'effectue jusqu'à obtention de l'épaisseur désirée. Les plaques ainsi obtenues, après passage dans un tunnel chauffant, sont stabilisées et usinées.

Fabrication du polyuréthane

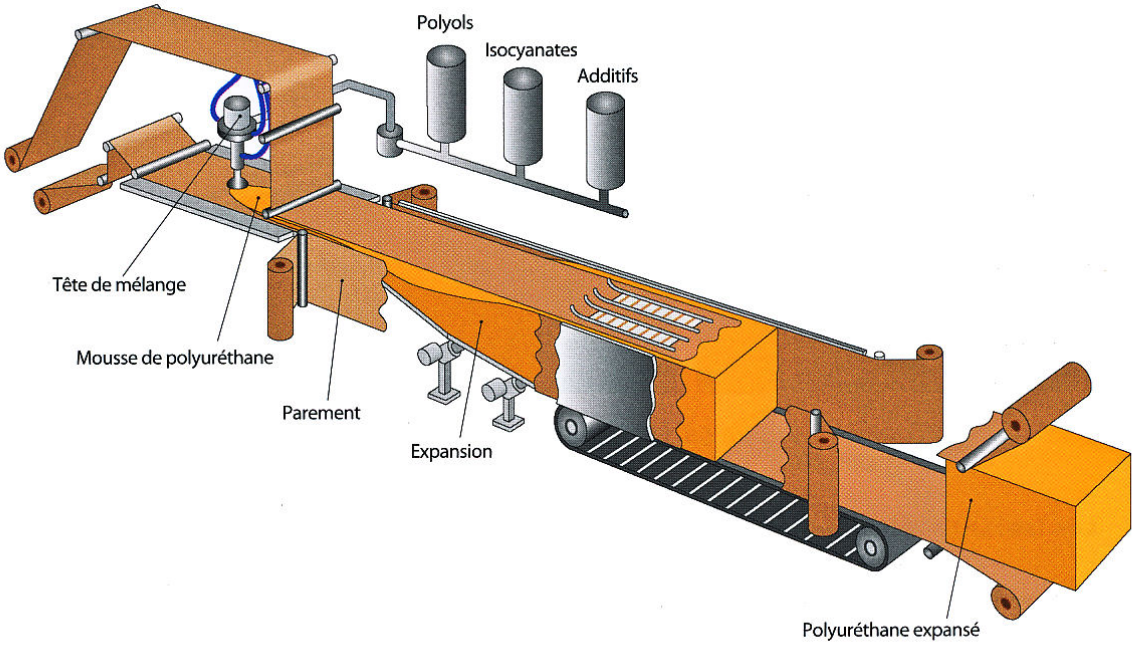


Figure 67 : La fabrication du polyuréthane

On trouve également des complexes isolants associés à une plaque de plâtre ou des bombes aérosol utiles pour la réalisation des joints de calfeutrement ou pour réaliser une étanchéité à l'air.
Les cellules du polyuréthane étant fermées, le matériau supporte bien la compression, est insensible à l'eau et, est imperméable à la vapeur d'eau.

Le coefficient de conductivité thermique du polyuréthane est l'un des plus performants (0,022 à 0,025 W/m.K pour les panneaux et de 0,028 à 0,030 W/m.K pour les mousses), cependant sa fabrication requiert beaucoup d'énergie grise.
Les performances acoustiques du polyuréthane sont médiocres.
Les domaines d'emploi du polyuréthane sont similaires à ceux du XPS, c'est-à-dire pour les toitures (panneaux sandwich, caissons chevronnés), les toitures-terrasses, les sols et les doublages des murs.
Les isolants polyuréthanes sont recyclables par broyage ou traitement chimique, cependant la filière est encore peu développée.

Il existe également des mousses de polyisocyanurate (PIR), peu utilisées en France, proches du polyuréthane et commercialisées sous la forme de panneaux aux performances similaires. Elles présentent l'avantage d'offrir un meilleur comportement au feu.
Les isolants à bases de mousses phénoliques (PF) et de mousses urée-formol, dangereuses pour la santé et l'environnement ne sont plus utilisées, cependant il est possible de les trouver dans les bâtiments existants, notamment en cas de rénovation.

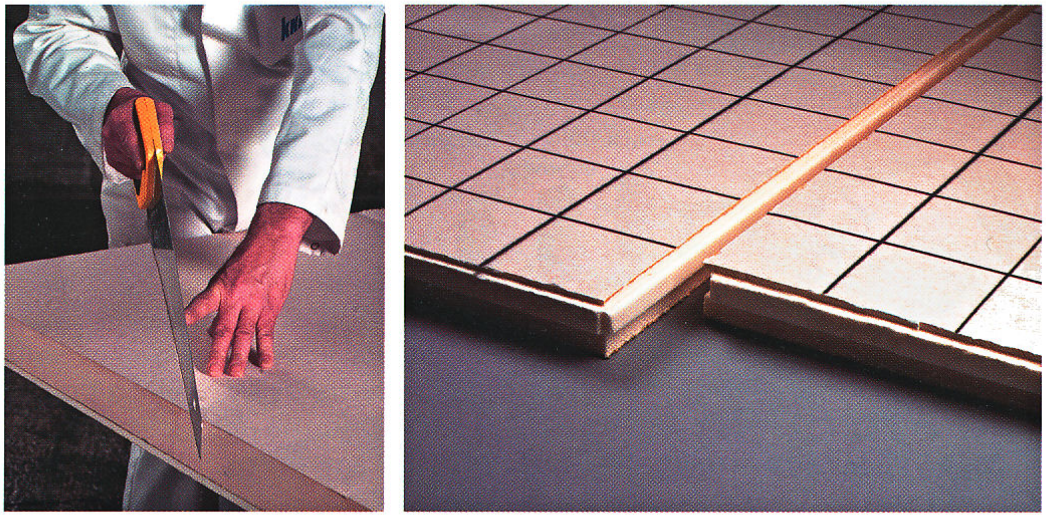


Figure 68 : Les isolants en polyuréthane

Les isolants minéraux

Les isolants minéraux sont d'origine naturelle. Ce sont les plus couramment employés dans le bâtiment. Ils comprennent les laines de roche ou de verre, le verre cellulaire, la perlite, la vermiculite et l'argile expansée. Ils sont fabriqués industriellement à partir de matières premières abondantes et mélangés à d'autres matériaux pour être commercialisés sous toutes les formes (panneaux rigides, flocons, rouleaux, vrac...).

La laine de verre

La laine de verre est élaborée à partir de silice (sable), de verre de récupération (ou calcin), par fusion, fibrage et polymérisation (figures 69 et 70). Elle est symbolisée par l'abréviation GW (*glass wool*). Le mélange initial est chauffé et fondu à 1 050 °C, puis étiré pour obtenir une structure de fibres très fines par procédé rotatif. Après refroidissement, les fibres sont encollées par pulvérisation de liants (résines phénoliques) pour former un matelas, qui est ensuite stabilisé par chauffage en étuve. Les liants sont alors polymérisés. Un revêtement peut ensuite être collé ou cousu (pare-vapeur en kraft, feuille d'aluminium ou voile de polypropylène non tissé). Le conditionnement est effectué selon les applications. La laine de verre est composée à 90 % de fibres, moins de 5 % de liants organiques et de moins de 1 % d'huile minérale pour limiter les poussières et l'absorption d'eau.
La laine de verre est un matériau léger dont la masse volumique est comprise entre 15 et 25 kg/m^3. Elle offre une inertie et un déphasage faibles.
De nombreuses études ont été menées depuis les années 1960 pour évaluer les effets, controversés, de la laine de verre sur la santé. Selon les fabricants et diverses enquêtes, aucune incidence néfaste n'a été relevée et l'OMS ne classe pas ce matériau dans le groupe des cancérogènes. En 2001, le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) a classé la laine de verre dans le groupe 3, *inclassable quant à la cancérogénicité pour l'homme* au lieu du groupe 2B, *cancérogène possible pour l'homme*. Cela a conforté la situation réglementaire en Europe où les fibres de laine minérale

Fabrication des laines minérales

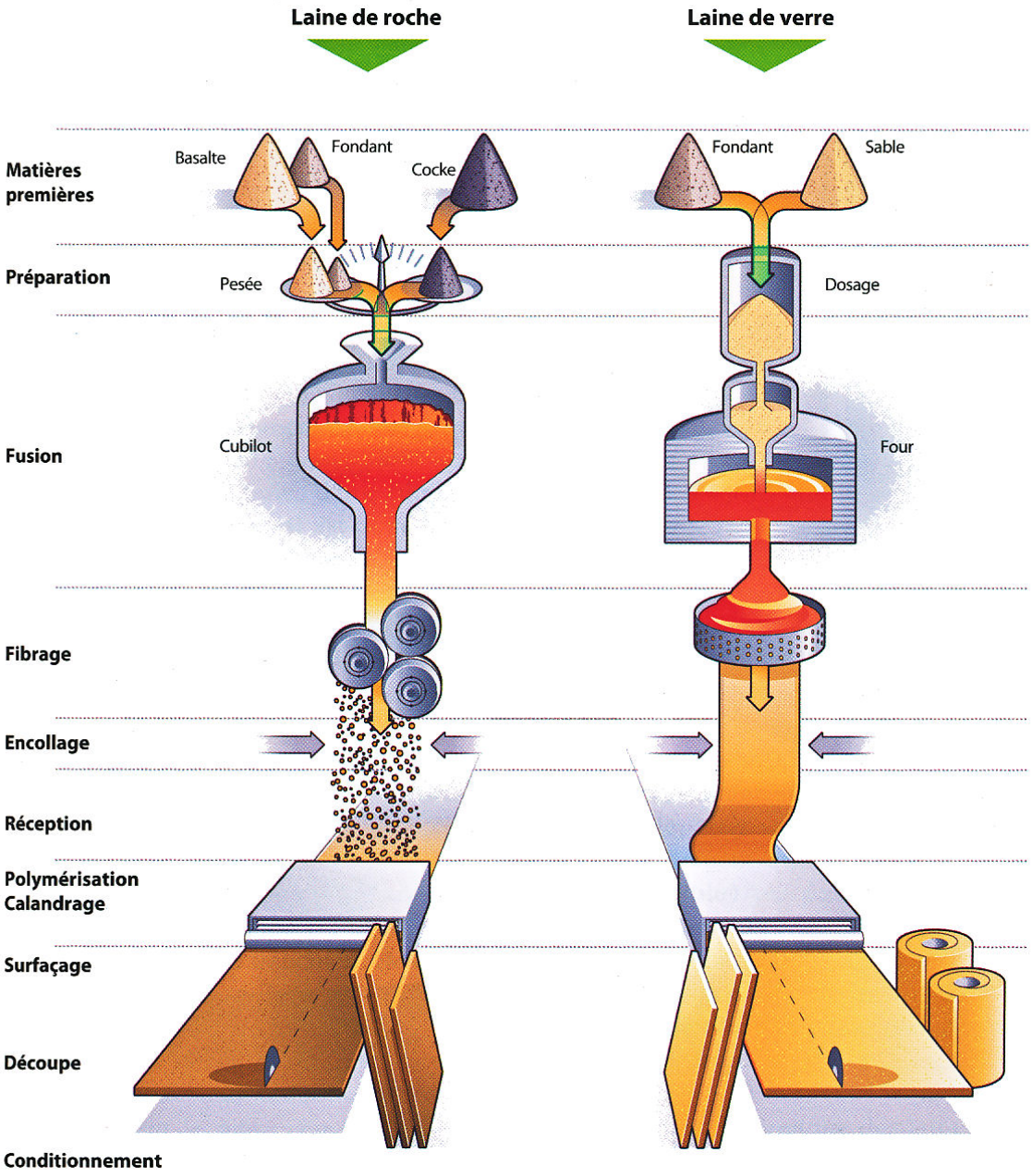
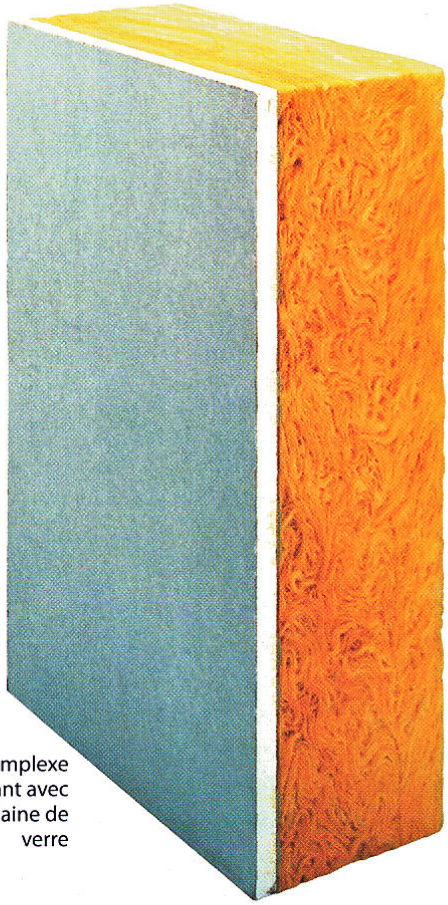


Figure 69 : La fabrication des laines minérales

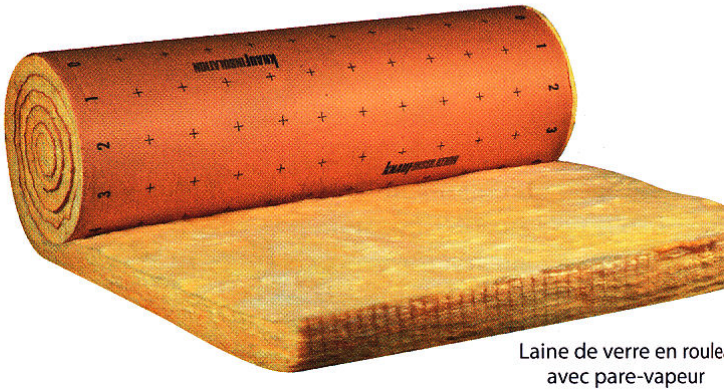
sont déclassifiées de la catégorie cancérogènes depuis 1997. Elles sont certifiées par un organisme indépendant, l'EUCEB (*European certification board of mineral wood*).

Même si la présence de fibres peut laisser subsister un doute, seules les particules inférieures à 3 µm pénètrent profondément dans les poumons. Les fibres de laine de verre ont un diamètre compris



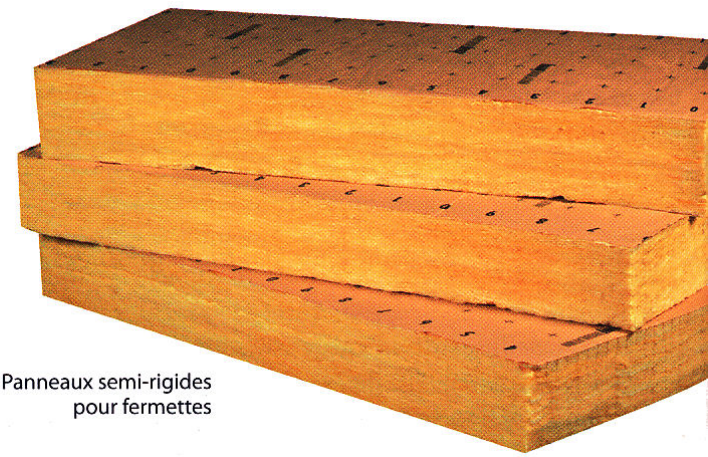
Complexe isolant avec laine de verre

Panneaux en laine de verre haute densité pour sol



Laine de verre en roule avec pare-vapeur

Panneau semi-rigide sans pare-vapeur pour cloison



Panneaux semi-rigides pour fermettes

Figure 70 : Les isolants en laine de verre

entre 2 et 8 µm et se coupent transversalement, ce qui permet leur élimination rapide par l'organisme. Par comparaison, l'amiante a des fibres inférieures à 1µm qui se coupent longitudinalement, soit l'impossibilité pour l'organisme de les éliminer naturellement.

Les fibres supérieures à 4 µm en suspension dans l'air peuvent entraîner des irritations de la peau, des yeux et des voies respiratoires supérieures. Elles s'incrustent dans l'épiderme, pouvant provoquer lésions, rougeurs et démangeaisons.
La réglementation française prévoit une exposition maximale en condition de pose de laines minérales d'une fibre par cm^3 pour huit heures. Il est donc impératif de porter des protections adéquates, surtout en cas de mise en œuvre par soufflage. La tenue de travail doit être ample mais ajustée au cou, aux poignets et aux chevilles. Le port d'une casquette et de lunettes à protections latérales est nécessaire, ainsi que des gants. Un appareil respiratoire de type P2 (demi masque filtrant) doit également être utilisé.

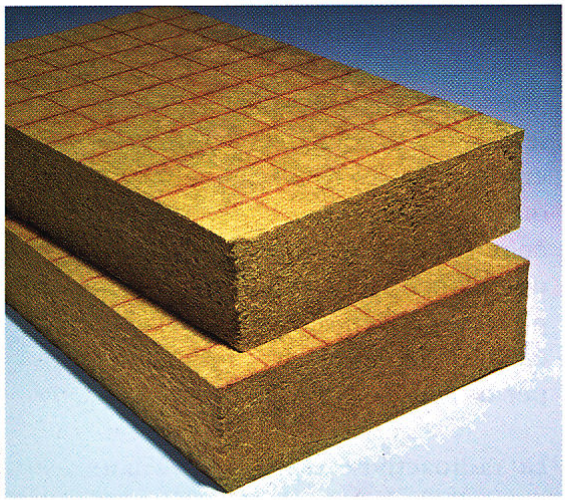
Pour limiter les poussières, l'usage de la scie pour la découpe est déconseillé, préférez un couteau tranchant. De même, n'utilisez que des outils électriques munis d'un dispositif de captage des poussières. Déballez les laines au dernier moment sur le lieu de leur utilisation. Ventilez correctement la pièce. En fin de pose, utilisez un aspirateur à filtre absolu ou à l'eau. Il ne faut pas balayer ou utiliser de soufflette pour le nettoyage des locaux où vient d'être effectuée une pose de laine minérale.

Pour éviter les désagréments dus aux poussières, il existe des laines de verre enveloppées par un voile de polypropylène.

L'exposition aux fibres minérales artificielles est peu documentée. Aussi, durant le cycle de vie de l'isolant, il convient de le maintenir enchâssé hermétiquement entre les parois et la finition. C'est pourquoi il est important de soigner la mise en œuvre du pare-vapeur et la réalisation de l'étanchéité à l'air. Les fixations au plafond ou les boîtes d'encastrements électriques ne doivent pas laisser échapper de fibres.

La radioactivité de ces matériaux est naturellement peu élevée. L'émission de COV est très faible.
La laine de verre est aisément recyclable, mais il n'y a pas de filière adaptée. Notons qu'elle peut elle-même être fabriquée à partir de verre recyclé. Les panneaux composites sont peu adaptés au recyclage. Si elle n'est pas recyclée, elle devient un déchet inerte non polluant.
L'énergie grise nécessaire à la fabrication de la laine de verre est limitée (de 150 à 250 kWh/m^3), ce qui en fait un produit présentant un bilan écologique raisonnable.
Le comportement au feu est excellent (incombustible) ou peu combustible et non inflammable en présence d'un pare-vapeur. La laine de verre résiste à une chaleur pouvant atteindre 800 °C, cependant les liants qu'elle contient se dégradent à partir de 200 °C.

La conductivité thermique des laines de verre est bonne et attestée par un certificat ACERMI. Elle est comprise entre 0,030 et 0,040 W/m.K. Les performances acoustiques sont également élevées. Les laines de verre ne se tassent pas au fil du temps si l'on choisit le produit adapté et si l'on ne pose pas de charges lourdes dessus. Elles peuvent subir les attaques des rongeurs.


© Flumroc

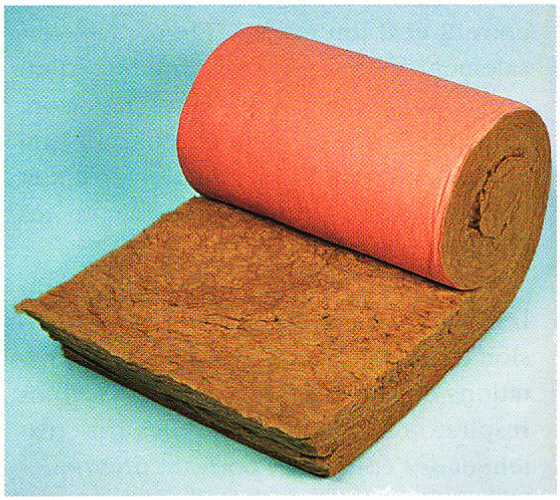

© Rockwool

Figure 71 : Les isolants en laine de roche

La perméabilité à la vapeur d'eau est grande, c'est pourquoi un pare-vapeur est indispensable en isolation par l'intérieur. Si le matériau est mis momentanément en présence d'eau, il suffit de le laisser sécher afin qu'il retrouve ses performances thermiques initiales. Il est imputrescible et ne favorise pas le développement des moisissures.

La laine de verre est commercialisée sous toutes les formes (rouleaux, panneaux semi-rigides, complexes isolants, flocons) avec un rapport performances/prix très intéressant. On l'utilise pour l'isolation des toitures inclinées, des combles perdus ou aménageables, des cloisons, en complexe isolant, derrière ossature métallique ou en contre-cloison. En isolation par l'extérieur, elle peut être posée derrière un bardage, en coulisse de doubles murs et sous plancher ou dalle flottante.

La laine de roche

La laine de roche (symbole MW) (figure 71) est fabriquée à partir d'une ressource abondante, le basalt (roche volcanique), de fondant et de coke. Elle est fondue à 1 500 °C dans un cubilot, puis traitée industriellement de façon analogue à la laine de verre.
C'est un matériau léger d'une masse volumique de 40 kg/m^3. Son inertie thermique est légèrement supérieure à celle de la laine de verre, mais reste moyenne.

Les risques potentiels pour la santé sont les mêmes que ceux de la laine de verre. Les fibres de laine de roche sont réputées peu dangereuses. Elles peuvent cependant entraîner des irritations cutanées et des voies respiratoires supérieures, aussi les mêmes précautions de pose que la laine de verre sont à respecter.

La laine de roche est recyclable, mais il n'y a pas de filière adaptée. À l'état de déchet, elle ne présente pas de risque de pollution pour l'environnement (déchet inerte). Son niveau d'énergie grise est correct, soit environ 150 kWh/m^3.
Elle est incombustible, résistante à la chaleur et conserve ses performances mécaniques même à haute température. Elle ne dégage pas de gaz toxiques.

La laine de roche conserve sa compacité dans le temps et supporte bien la compression (panneaux).
Les performances thermiques sont bonnes, avec une conductivité thermique comprise entre 0,032 et 0,040 W/m.K. La laine de roche peut être utilisée comme isolant acoustique de qualité contre les bruits aériens et les bruits d'impact.
La perméabilité à la vapeur d'eau de la laine de roche est élevée. En cas d'exposition momentanée à l'eau, il suffit de la laisser sécher pour qu'elle retrouve ses performances initiales.

La laine de roche est disponible en rouleaux, panneaux, flocons ou complexes isolants. Les domaines d'emplois sont identiques à ceux de la laine de verre. Cependant, elle est préférée lorsque les contraintes mécaniques sont importantes (isolation sous chape, toiture-terrasse, isolation par l'extérieur sous enduit...).

Le verre cellulaire

Le verre cellulaire (CG, *cellular glass*) (figures 72 et 73) est composé de millions de cellules fermées remplies de gaz inerte. Il est fabriqué à partir de sable ou de calcin (verre recyclé). Le verre fondu est étiré sous forme de tubes qui sont refroidis, puis finement broyés. Par ajout de poudre de carbone, on obtient un mélange que l'on dispose dans des bacs en inox. Les bacs passent ensuite au four de moussage où le mélange va gonfler sous l'effet de la chaleur (850 °C).

Aucun agent chimique n'est ajouté. Les pains ainsi formés passent ensuite dans un four de recuit afin d'être ramenés progressivement à la température ambiante, sans dégonfler. Les pains sont rectifiés, puis découpés selon des cotes adaptées à la construction. Les déchets occasionnés sont récupérés et réintégrés dans le processus de fabrication.
C'est un matériau assez léger dont la masse volumique est comprise entre 120 et 175 kg/m^3. L'inertie thermique est moyenne, légèrement supérieure à celle des laines minérales.
Le verre cellulaire est un matériau inerte qui n'émet ni gaz, ni substances, ni fibres. Il ne favorise pas le développement des micro-organismes. Les sources de danger pour la santé pourraient provenir des colles utilisées pour l'assemblage des panneaux en verre cellulaire, généralement à base de bitume.

Il est naturellement facilement recyclable, cependant il n'existe pas de filière. Sa mise au rebut ne présente pas de risques pour l'environnement. L'inconvénient du verre cellulaire est son niveau d'énergie grise élevé (1 600 kWh/m^3). On peut considérer sa durée de vie exceptionnelle pour contrebalancer cette piètre performance.

Il s'agit d'un matériau totalement incombustible. Il ne dégage aucune fumée en présence de feu. Il résiste à des températures pouvant atteindre 430 °C et ramollit à partir de 730 °C. Sa tenue dans le temps et sa stabilité dimensionnelle sont excellente, notamment en cas de contraintes de compression. Il est résistant à la plupart des acides et à leur vapeurs, aux rongeurs et aux insectes.
Les performances thermiques du verre cellulaire sont bonnes avec un coefficient lambda de conductivité thermique compris entre 0,038 et 0,055 W/m.K. Ses performances comme isolant acoustique sont bonnes.
Le verre cellulaire est imputrescible et totalement étanche à l'eau et à la vapeur.

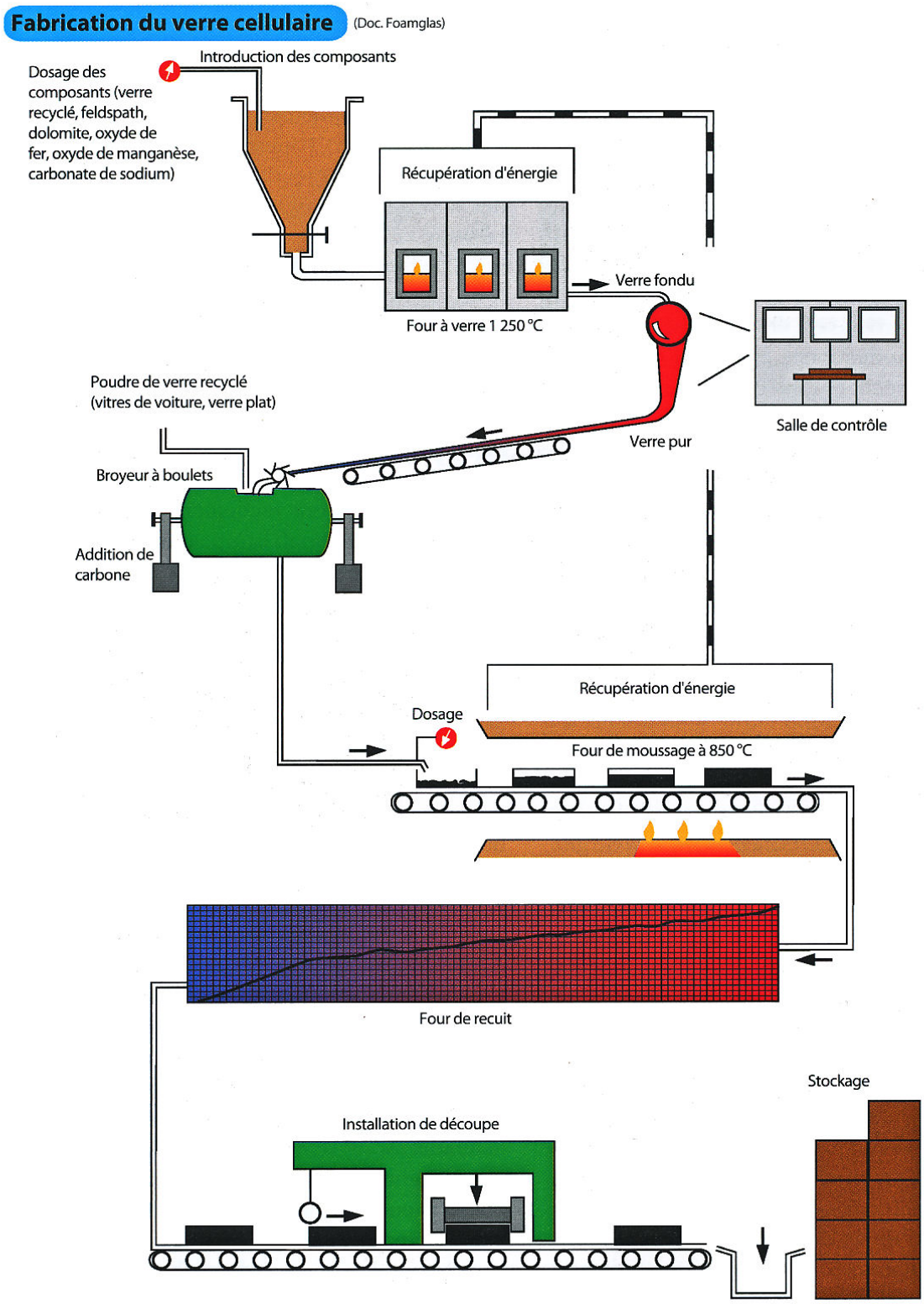
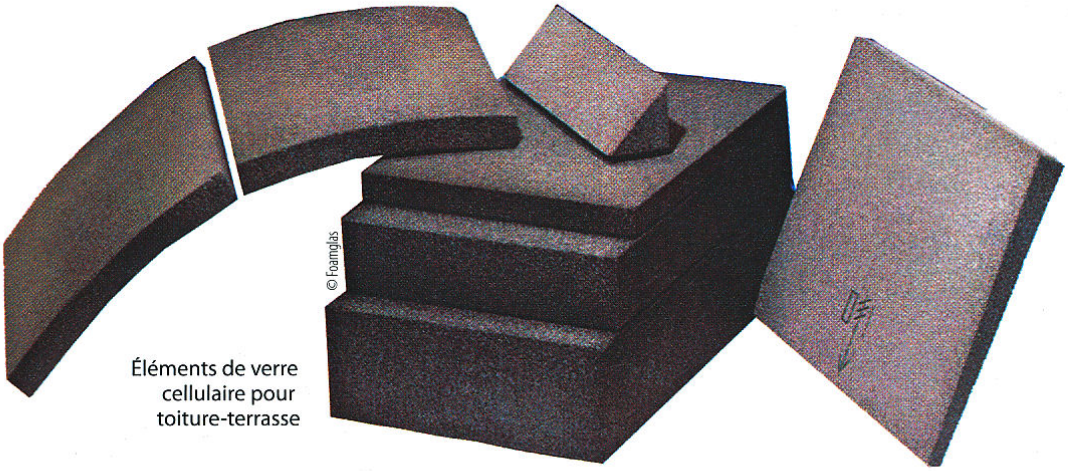


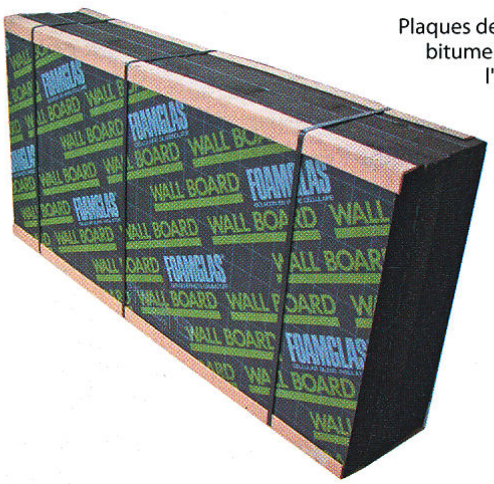
Figure 72 : La fabrication du verre cellulaire



Éléments de verre cellulaire pour toiture-terrasse

Granulés de verre cellulaire

Panneau de verre cellulaire



Plaques de verre cellulaire surfacées au bitume pour l'isolation des murs par l'intérieur ou l'extérieur

Figure 73 : Les éléments en verre cellulaire

C'est un matériau d'isolation plutôt cher. Il est disponible sous forme de panneaux de différentes épaisseurs selon les emplois. Il existe aussi sous forme de blocs de construction isolants. Tout type d'isolation est possible : façade, par l'intérieur ou l'extérieur, toitures inclinées, sols, murs. Du fait de son caractère inerte et imputrescible, son emploi le plus courant demeure l'isolation des toitures-terrasses, des soubassements enterrés et l'isolation sous dalle ou sous radier.

Il existe également des granulats de mousse de verre utilisés pour l'isolation des soubassements enterrés, des fondations et sous radier. Cet emploi nécessite des précautions particulières pour la stabilité du bâtiment et de veiller à respecter l'étanchéité à l'eau puisque celle-ci n'est plus assurée par le matériau lui-même du fait de la structure ouverte en granules, d'où un abaissement possible des performances thermiques.

La perlite

La perlite (EP, *expanded perlite* ou EPB, *expanded perlite board*) (figure 74) est une roche volcanique siliceuse. Cette ressource abondante peut être exploitée industriellement. Le minerai est concassé et chauffé à 1 200 °C dans des fours spéciaux fixes ou rotatifs. Elle est expansée grâce à la vapeur d'eau. Les grains produits renferment une multitude de cellules fermées d'air au fort pouvoir isolant. Aucun additif ou produit n'est ajouté. Des fibres ou du bitume peuvent être incorporés aux granules pour constituer des panneaux (fibres cellulosiques, fibres de verre).
La perlite étant hydrophile, des hydrofuges sont souvent ajoutés au matériau de base. C'est également la raison pour laquelle les billes de vermiculite destinées à l'utilisation en vrac sont enrobées de silicone, bitume ou de paraffine. Humidifiées, les granules finissent par s'agglomérer et se sédimenter.
La masse volumique de la perlite est comprise entre 90 et 165 kg/m³ selon qu'elle se présente sous forme de granules ou de panneaux. Elle est appréciée pour sa bonne inertie qui permet d'améliorer la capacité thermique des bâtiments.
La matière première elle-même est totalement naturelle et neutre. Il n'y a pas de risque pour la santé ou l'environnement, durant le cycle de vie du produit ou à l'état de déchet.
La perlite est naturelle et écologique, cependant son énergie grise est relativement importante (230 kWh/m³), comparable à d'autres isolants comme les laines minérales.
Sous sa forme brute, elle est incombustible et résistante à la chaleur. Elle ne dégage aucun gaz en cas d'incendie. Cependant, les additifs employés pour sa fabrication peuvent dégager des gaz nocifs.
La stabilité dimensionnelle de ce matériau est bonne ainsi que sa résistance à la compression. La perlite est insensible aux bactéries, champignons et rongeurs.
Ses performances thermiques sont moyennes, avec un coefficient λ compris entre 0,05 et 0,06 W/m.K. Elle peut être utilisée comme isolant acoustique.
Elle craint l'eau, si elle n'est pas traitée, avec une capacité d'absorption allant jusqu'à 300 % de sa masse.

Le coût de la perlite est assez élevé. Elle est utilisée principalement en vrac pour le déversement dans les combles non aménagés, l'isolation sous chape ou sous dalle, en isolation thermo-acoustique ou intégrée dans des mortiers allégés, des enduits au plâtre ou à la chaux. Sous

1. La perlite
2. La vermiculite
3. Billes d'argile expansée
4. Perlite expansée enrobée de paraffine

Figure 74 :
La perlite, la vermiculite et l'argile expansée

forme de panneaux, elle est généralement utilisée pour les toitures-terrasses.

La vermiculite

La vermiculite (figure 74) est issue d'une ressource naturelle abondante, le silicate de magnésie, ressemblant au mica et présentant la propriété de pouvoir s'expanser ou s'exfolier sous l'effet de la chaleur (1 000 °C) et de la vapeur d'eau. Elle peut alors augmenter son volume jusqu'à 15 fois. Dans la nature, elle peut se trouver associée à l'amiante.

C'est un matériau léger dont la masse volumique est comprise entre 65 et 160 kg/m^3, qui permet d'améliorer l'inertie thermique d'une habitation.

La vermiculite a été associée à l'amiante, car certains gisements contenaient également ce minéral, notamment dans les carrières de Libby Mine, au Montana (États-Unis). Commercialisée en Amérique du Nord, le minerai issu de cette mine est interdit depuis les années 1990. Afin d'éviter tout risque sanitaire, même si en France aucun problème n'a été

signalé, il est demandé aux fabricants de vérifier les bulletins d'analyse pour s'assurer de l'absence d'amiante dans leurs produits à base de vermiculite. Pure, elle n'est pas dangereuse pour la santé. La poussière dégagée lors de sa mise en œuvre nécessite de protéger de façon adéquate les yeux et les voies respiratoires.
C'est un matériau naturel inerte qui ne présente pas de danger pour l'environnement lors de son utilisation ou une fois transformé en déchet.

Le minerai est disponible principalement dans les pays suivants : Chine, Afrique du Sud, Zimbabwe, Australie, Brésil, Kenya et États-Unis. Il faut transporter le produit jusqu'en Europe pour le transformer. L'énergie grise de la vermiculite n'est donc pas négligeable (230 kWh/m³).
Pure, elle est incombustible et offre une excellente résistance au feu. Sa température de fusion est de 1 300 °C. Chimiquement imputrescible, elle résiste parfaitement aux insectes et aux rongeurs. Sa résistance mécanique est bonne, cependant elle est très hydrophile, c'est pourquoi elle est souvent enrobée de silicone ou de bitume, d'où un risque de dégagements gazeux en cas d'incendie.
Ses performances thermiques sont moyennes, avec un coefficient de conductivité thermique compris entre 0,06 et 0,08 W/m.K. L'isolation acoustique est bonne, autant pour les bruits aériens que pour les bruits d'impact.
La bonne perméabilité à la vapeur d'eau de la vermiculite laisse respirer les supports.
Le coût de la vermiculite est assez élevé, notamment en raison des traitements hydrofuges qu'elle doit subir, à l'instar de la perlite. Elle est disponible principalement en vrac. On l'utilise pour l'isolation des combles perdus ou des vides de construction par insufflation, pour la confection de bétons allégés et la réalisation de sous-couches pour les chapes. Elle est utilisée également dans les portes coupe-feu ou pour la protection des conduits de cheminées.

L'argile expansée

L'argile expansée (figure 74) est fabriquée industriellement, depuis 1917, à partir d'argile naturelle brute, qui est séchée, réduite en farine, puis mélangée à de l'eau. Le mélange est chauffé à 1 200 °C dans un four cylindrique tournant pouvant atteindre 100 m de longueur. L'extraction du gaz des billes (de 1 à 10 mm de diamètre) produit leur expansion, jusqu'à 5 fois leur taille originelle. La structure est semi fermée, semblable à de la pierre meulière, avec à la fois des alvéoles ouvertes et des alvéoles fermées. C'est le roulement des cylindres qui donne aux granulats leur forme de billes et crée une écorce externe compacte et résistante qui permet de laisser passer l'air et l'eau. Après tamisage, on obtient différentes granulométries selon les usages souhaités.

C'est un isolant assez lourd de masse volumique comprise entre 350 et 700 kg/m³, offrant une bonne inertie thermique.
Comme matériau naturel, elle ne dégage ni gaz, ni fibres, ni substances dangereuses pour la santé et l'environnement. En tant que déchet, elle est totalement inerte.
Les procédés de fabrication nécessitent beaucoup de chaleur, ce qui en fait un matériau gourmand en énergie grise (environ 300 kWh/m³), notamment à cause du fait que l'argile soit réfractaire, une partie de l'énergie de chauffage est

perdue. Deux à trois fours en ligne sont nécessaires au cours du processus de fabrication.
Elle est totalement incombustible et résistante au feu, même dans les incendies les plus violents. La résistance à la compression est optimale grâce à la coque externe des billes qui les rend indéformables. Elle ne subit aucune attaque d'ordre microbiologique (imputrescible), de produits corrosifs (acides courants) ou d'insectes. Elle ne se dégrade pas dans le temps.

Ses performances thermiques sont plutôt faibles, avec un coefficient de conductivité thermique λ compris entre 0,10 et 0,16 W/m.K. L'affaiblissement acoustique permis par l'argile expansée est correct, pour les bruits aériens comme pour les bruits d'impact.
Elle est perméable à la vapeur et ne craint pas l'eau, mais dans ce cas ses performances thermiques sont annulées.
Il s'agit d'un produit relativement cher pour une utilisation comme isolant. On trouve l'argile expansée en vrac pour épandage ou pour la réalisation de bétons allégés. Il existe également des blocs de construction à base de billes d'argile expansée.

Les isolants d'origine végétale

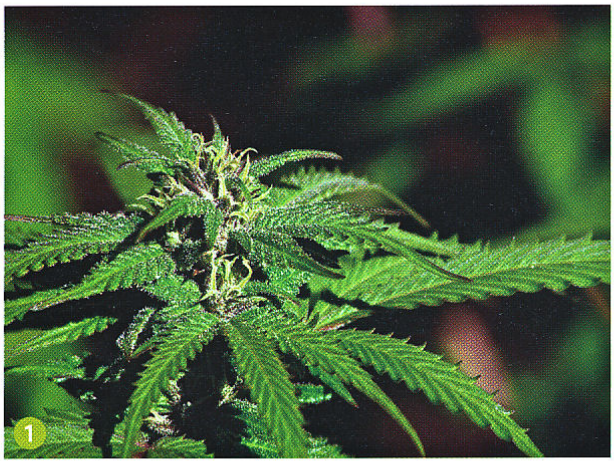
De nombreux végétaux produisent des fibres qui peuvent être mises à profit pour fabriquer des isolants efficaces et naturels. Différents modes et formes de mise en œuvre sont proposés pour répondre à tous les besoins en isolation thermique ou acoustique. Le caractère naturel de ces isolants accroît leur succès. L'offre commerciale se développe et les prix tendent à baisser. Les isolants végétaux présentent de nombreux avantages, cependant certains inconvénients peuvent apparaître selon le type de produit et la façon dont il a été fabriqué. Préférez les isolants ayant reçu une certification quant à leurs performances thermiques (ACERMI).

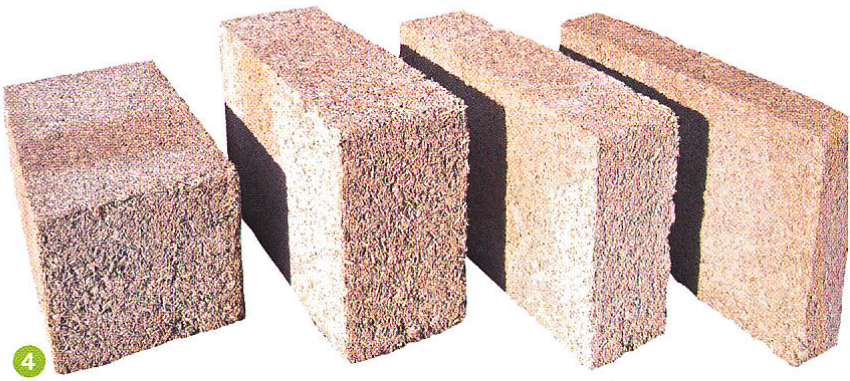
Le chanvre

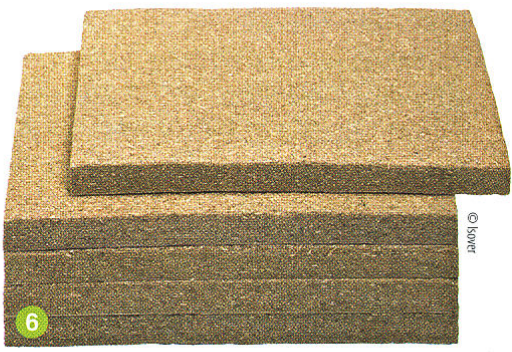
La culture du chanvre (figure 75) est ancestrale. Elle voit un retour en force grâce à ses nombreuses qualités, qui en font un matériau pratique, naturel et aux nombreux avantages.

Dans les années 1850, la culture du chanvre était omniprésente en Europe. En 1960, elle avait pratiquement disparu. La France était pratiquement le dernier pays à conserver une petite production. Bien que les surfaces cultivées restent modestes, cette culture fait aujourd'hui l'objet d'un intérêt croissant et les producteurs français ont su mettre à profit leur expérience. Cependant, la majeure partie du chanvre employé en France est importé d'Allemagne et de Grande-Bretagne.
Le premier papier à base de chanvre a sans doute été utilisé par les Romains, 100 ans avant J.-C. En 600, la fibre de chanvre est une des matières courantes chez les Vikings, les Germains et les Francs. Les Musulmans vers 1150 étendent l'usage du chanvre à toute l'Europe. Gutenberg imprime en 1450 sa première Bible sur papier de chanvre alors que Christophe Colomb partira vers la conquête des Amériques avec des cordages et des voiles tissés en chanvre.

La culture du chanvre agricole (*Cannabis sativa,* contenant au maximum 0,2 % de THC, agent psychotrope) est, bien entendu, la seule autorisée en Europe.







1. Plant de chanvre agricole
2. Copeaux de chanvre bitumés
3. Chènevotte
4. Blocs de chanvre
5. Laine de chanvre
6. Panneaux de chanvre

Figure 75 : Les isolants en chanvre

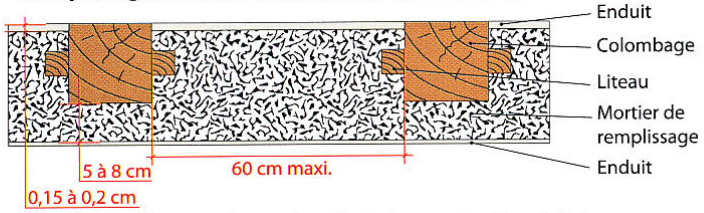
À la fin du XIXe siècle, il y avait près de 176 000 ha de chanvre partout en France (principalement en Champagne-Ardenne et en Pays-de-Loire). C'était un produit incontournable pour l'économie grâce à ses nombreux usages. À partir de la seconde moitié du XIXe siècle, l'industrie du papier se tourne vers le bois, plus facile à exploiter. La vapeur entraîne la disparition de la marine à voile. Le coton, les fibres exotiques, puis synthétiques, se développent et enfin la prohibition, par assimilation avec le chanvre indien (*Cannabis indica*), restreint sa culture aux États-Unis, suivis par la plupart des pays occidentaux.

Le chanvre présente de nombreuses qualités qui en font une culture particulièrement intéressante. Bien que la culture biologique du chanvre soit peu répandue, on peut le considérer comme une « écoculture » par nature.
En effet, cette plante est capable de produire plus de dix tonnes de matière sèche par hectare en trois à quatre mois. Le chènevis (graine) est récolté à la moissonneuse-batteuse. Les pailles sont fauchées, conditionnées et stockées. On procède ensuite au défibrage, opération consistant à séparer les fibres (écorce de la plante) de la chènevotte (cœur de cellulose).
Ainsi, toutes les parties de la plante sont utilisées. Le chènevis sert à la fabrication de pains ou de barres de céréales, ou à la nourriture animale. Pressé, il donne une huile siccative utilisée en cosmétique ou en peinture. La tige qui donne la fibre et la chènevotte servent à la fabrication de cordes, de filasse pour la plomberie, de papier et entrent dans la fabrication de la laine de chanvre.
Les intrants phytosanitaires sont peu ou pas nécessaires, c'est-à-dire qu'il n'y a pas besoin de désherbants, ni d'insecticides, ni de fongicides. Le développement rapide de la plante couvre le sol et empêche les mauvaises herbes de se développer. Il s'agit d'une culture nettoyante.
L'irrigation n'est pas non plus nécessaire. Contrairement à de nombreuses plantes, le chanvre n'est pas un gros consommateur d'eau. Sa vitalité et sa robustesse en sont une des raisons.
Son système radiculaire profond est très puissant, il permet de régénérer les terres en « aspirant » les nitrates.
Le chanvre est aussi friand de CO_2 par photosynthèse du fait de sa production rapide et abondante de masse végétale.
Les laines de chanvre, légères, ont une masse volumique comprise entre 30 et 40 kg/m^3. Elles offrent une inertie correcte pour l'habitation.
L'énergie grise des isolants en chanvre est plutôt faible. Le défibrage est effectué mécaniquement et sans traitement chimique. La matière brute est naturelle, inerte et sans danger pour la santé ou l'environnement. Ses fibres ne sont pas dangereuses pour les voies respiratoires profondes.

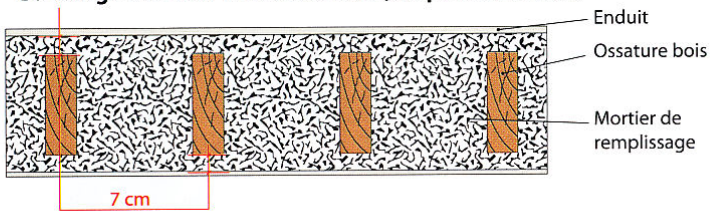
Cependant, le chanvre est inflammable et sensible à l'humidité. C'est pourquoi des produits ignifuges sont parfois ajoutés (comme du phosphate d'ammonium ou du carbonate de soude), pouvant provoquer l'émanation de gaz en cas d'incendie.
Pour assurer la stabilité de la laine de chanvre, sa cohésion et sa résistance dans le temps, il est nécessaire d'y associer en petite quantité des liants synthétiques (polyester, polyoléfines) ou naturels (coton).
Le chanvre est naturellement imputrescible. Il est perméable à la vapeur d'eau

Exemples d'utilisaton du mortier de chanvre (D'après CESA)

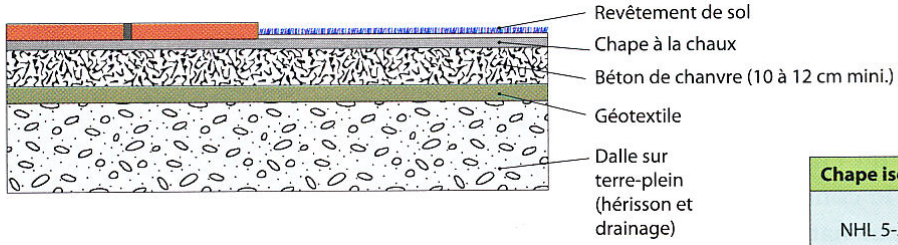
Remplissage de colombages (coupe horizontale)



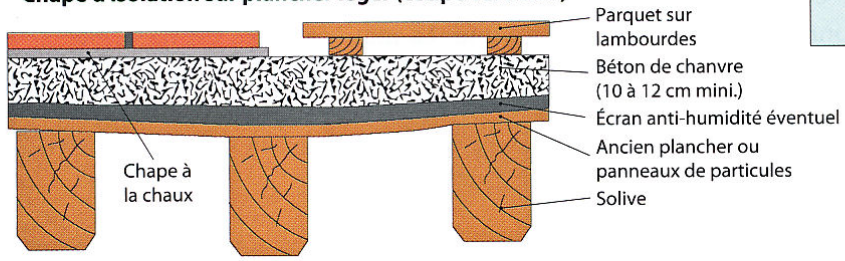
Banchage d'un mur à ossature bois (coupe horizontale)



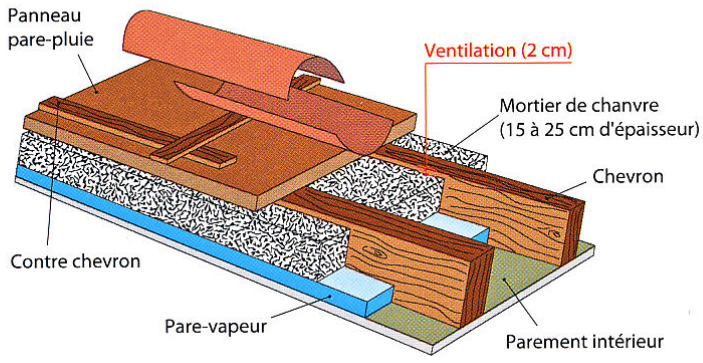
Chape d'isolation sur dalle (coupe verticale)

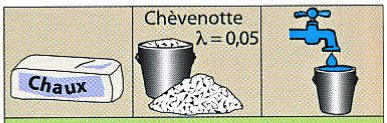


Chape d'isolation sur plancher léger (coupe verticale)



Isolation de toiture (mortier isolant léger)





Remplissage (λ = 0,09 à 0,11)		
NHL 5-Z 1 sac de 35 kg	100 litres	35 à 40 litres

Mur de 26 cm d'épaisseur : Up = 0,38
Mur de 36 cm d'épaisseur : Up = 0,2

Enduit isolant (λ = 0,11 à 0,13)		
NHL 2 2 sacs de 25 kg	100 litres	60 à 70 litres

Chape isolante (λ = 0,11 à 0,13)		
NHL 5-Z 1 sac de 35 kg	100 litres	35 à 40 litres

Mortier isolant léger (λ = 0,09)		
NHL 2 1 sac de 25 kg	200 litres	35 à 40 litres

Figure 76 : Exemples d'utilisation du mortier de chanvre

et constitue un bon régulateur hygrométrique : il absorbe l'humidité et la rejette quand le temps est sec.

La laine de chanvre affiche un coefficient de conductivité thermique lambda de 0,039 à 0,042 ce qui la situe dans la moyenne des isolants fibreux. La fibre constituant la laine de chanvre est naturellement amère et exempte de protéines, ce qui n'attire pas les rongeurs, ni les mites ou autres insectes.
Les isolants en chanvre ont un prix moyen légèrement plus élevé que celui des laines minérales classiques (environ 10 %).
Ils sont disponibles en panneaux, matelas, rouleaux ou en vrac et concernent les mêmes domaines d'emploi que les laines minérales. Il est à noter que les rouleaux sont généralement vendus sans pare-vapeur, aussi pensez également à vous en procurer en quantité suffisante, en fonction des besoins de votre projet d'isolation.

La chènevotte

La chènevotte est le cœur de la tige du chanvre. Elle se présente sous forme de particules de cellulose de 2 cm environ. Elle peut être utilisée comme isolant en vrac ou être mélangée avec de la chaux naturelle et pure pour former un conglomérat de construction léger et isolant. Elle est également appelée anas ou grette. Elle est légère et structurée en de nombreux canaux formant des cavités qui permettent une bonne régulation de l'humidité et de bonnes performances thermiques et acoustiques.

Non traitée et associée à de la chaux, elle est utilisée pour la fabrication de mortiers (figure 76), de bétons ou de blocs de construction allégés isolants.

Sa masse volumique est de 100 à 115 kg/m^3. Son coefficient de conductivité thermique est de 0,5 W/m.K.
Les fibres les plus fines peuvent être utilisées pour la confection d'enduits isolants dont le lambda est compris entre 0,11 et 0,13 W/m.K.
Une des particularités de la chènevotte est qu'elle est très hydrophile (400 à 500 % de pouvoir d'absorption). Cela peut poser problème pour la réalisation de mortiers, c'est pourquoi on utilise uniquement de la chaux aérienne dont l'une des caractéristiques est de durcir grâce au carbone de l'air au lieu de l'eau, à la différence des liants hydrauliques. C'est la carbonatation.

Selon les dosages, les mortiers de chaux ont un coefficient de conductivité thermique compris entre 0,09 et 0,13 W/m.K. Ils ne présentent pas assez de résistance mécanique pour être porteurs et sont donc utilisés pour le remplissage des constructions à colombages ou des murs à structure bois par banchage. Les mortiers de chaux servent également pour la réalisation de chapes isolantes sur planchers légers ou lourds et pour l'isolation des toitures inclinées, ce qui offre en outre l'avantage d'en augmenter l'inertie thermique.
Les bétons de chanvre possèdent de bonnes performances thermiques et acoustiques, ont une faible masse volumique, sont perméables à la vapeur d'eau et conservent une bonne élasticité.

Il existe également de la chènevotte enrobée de bitume utilisée pour le ravoirage, la remise à niveau de planchers anciens et la réalisation de sous-couches isolantes pour chapes flottantes ou parquets. Ainsi traitée, la chènevotte conserve ses qualités acoustiques, résiste

mieux à la compression et présente une bonne tenue dans le temps. Cependant, elle demeure inflammable et devient source potentielle de gaz nocifs en cas d'incendie. La masse volumique de la chènevotte bitumée est de 150 kg/m³ et son coefficient de conductivité thermique de 0,06 W/m.K.
La chènevotte peut être utilisée comme isolant en vrac par déversement dans les combles non aménagés ou les vides de construction. Elle peut également être mise en œuvre par insufflation. Le produit doit alors être traité contre l'humidité et le feu.

Le lin

Le lin (*Linum usitatissimum* ou lin cultivé) (figure 77) est une plante annuelle, à petites feuilles et jolies fleurs bleu violacé, pouvant atteindre 1 m de hauteur, bien connue depuis des siècles pour ses fibres, parmi les plus résistantes, et ses graines oléagineuses. Sa culture est plus délicate que celle du chanvre, car il est sensible aux conditions de sol, de climat et aux mauvaises herbes, mais il nécessite malgré tout peu de produits phytosanitaires, pesticides ou engrais. La France est le premier producteur mondial de lin.
Pour la fabrication de produits d'isolation, on utilise les fibres courtes du bas de la tige qui ne sont pas exploitées par l'industrie textile. La partie récupérée est cardée pour produire des couches de fibres superposées. Ces fibres sont ensuite thermoliées avec du polyester pour constituer un matelas. Vérifiez ce point puisque des solutions naturelles existent comme la fécule de pomme de terre. Celle-ci, dissoute par un procédé thermomécanique constitue un excellent liant pour la réalisation de laines isolantes.

Légères, les laines de lin ont une masse volumique comprise entre 20 et 60 kg/m³. Les feutres de lin ont une masse volumique d'environ 150 kg/m³. L'inertie de ce matériau est correcte, ce qui permet d'améliorer le confort thermique d'une habitation.
Pures, elles sont naturelles, imputrescibles, sans danger pour la santé ou l'environnement durant leur cycle de vie ou à l'état de déchet et recyclables. Cela n'est pas forcément le cas des produits ajoutés lors de la fabrication pour assurer la texture ou améliorer les propriétés de la matière brute.
L'énergie grise des laines de lin est faible (30 kWh/m³), ce qui constitue un avantage pour la limitation des gaz à effet de serre.
Pour prévenir le développement des moisissures, la protéger contre les insectes et contre le feu, la laine de lin doit être traitée (sels de bore, silicate de sodium...). Si le traitement appliqué est chimique, il peut y avoir des dégagements de gaz en cas d'incendie. Elle ne craint pas les rongeurs mais peut leur servir d'habitat. Il peut y avoir un tassement, avec le temps, en isolation verticale.

Les performances thermiques des laines de lin sont correctes, dans la moyenne des laines classiques, avec une conductivité thermique comprise entre 0,037 et 0,040 W/m.K. Il est à noter que le feutre de lin offre une performance thermique légèrement moindre avec un coefficient lambda de 0,047 W/m.K. Les propriétés acoustiques sont bonnes ce qui en fait un isolant tout à fait adapté à cet usage.

Les laines de lin ont une perméabilité et un pouvoir hygroscopique importants. L'humidité de l'habitation est absorbée ou restituée en fonction de l'hygrométrie

© DR

© Heraklith

Figure 77 : Fleurs et laine de lin

ambiante, ce qui permet une respiration des murs et une atmosphère assainie.
Le prix des laines de lin est sensiblement plus élevé que celui des laines minérales ou de chanvre.
Le lin est disponible en vrac, en rouleaux, en panneaux ou en feutres (pour l'acoustique) et convient pour tout type d'isolation (murs, toitures, planchers, combles). Le cas échéant, prévoyez également l'achat de pare-vapeur ou freine-vapeur en quantité suffisante.

Le kenaf

Le kenaf (*Hibiscus Cannibus L.* et *Hibiscus Sabdafira L.*) (figure 78) appelé également chanvre de Deccan, est une plante cousine du coton. Il a été cultivé pour la première fois il y a plus de 4 000 ans dans les régions tropicales de l'Asie du sud-est (Inde, Pakistan, Malaisie). On le trouve également en Afrique (Soudan) et en Amérique centrale (Cuba). C'est une plante annuelle obtenue par semis, appartenant à la même famille que celle du chanvre. Il présente la particularité de produire en son cœur une moelle blanche (anas) servant pour la fabrication de la pâte à papier. La blancheur naturelle de l'anas de kenaf rend le blanchiment peu ou pas nécessaire. Il peut être effectué au péroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) pour respecter l'environnement. Il est inutile de blanchir la pâte dans des bains chimiques ou chlorés. Le papier produit à base de kenaf est d'excellente qualité. Il est économique et surtout écologique. C'est une alternative à la surexploitation des forêts.

En condition optimale, le kenaf produit des tiges épineuses pouvant atteindre jusqu'à 4 mètres de hauteur, récoltables en 3 à 5 mois. Il offre un rendement important pouvant atteindre jusqu'à 20 tonnes par hectare de matière sèche dans les régions chaudes (bassin méditerranéen, sud des États-Unis ou Afrique centrale). Les récoltes à haut rendement nécessitent de l'eau, de la chaleur et une bonne exposition solaire. En Europe, la culture du kenaf est développée en Italie et en Espagne. Peu d'intrants phytosanitaires (engrais ou pesticides) sont nécessaires, en effet le kenaf est quasi insensible aux parasites et aux maladies. C'est une plante rustique moins exigeante en eau que les cultures conventionnelles.

© DR

© Tecnosughero

Figure 78 : Plants et laine de kenaf

Cependant, le mode de culture retenu est souvent intensif, comme pour le maïs ou le soja et a largement recours aux intrants.
Comme le chanvre, les fibres de kenaf sont utilisables pour la fabrication d'isolants thermiques et acoustiques ou d'éléments de construction en les mélangeant à de la chaux.
Les fibres les plus longues peuvent être utilisées dans l'industrie pour l'élaboration de matériaux composites, les bioplastiques, notamment pour l'industrie automobile (tableaux de bord, garnitures de portes...).

Le kenaf est sans danger pour la santé ou l'environnement, seuls les additifs utilisés peuvent éventuellement être issus de l'industrie chimique. Il n'y a pas de dégagement de poussières ou de fibres lors de sa mise en œuvre. Il est totalement recyclable et n'est pas source de pollution à l'état de déchet.
Après récolte, le traitement mécanique nécessite peu d'énergie, ce qui lui confère un bas niveau d'énergie grise. Cependant, la production est peu ou pas locale.
Le kenaf est naturellement incombustible et imputrescible. Sa teneur nulle en protéines le rend inintéressant pour les insectes.
Pour assurer à la laine de kenaf stabilité et volume, des fibres de polyester sont généralement rajoutées, mais il existe des alternatives écologiques comme la fécule de pomme de terre. Vérifiez ce point dans la composition du produit avant de l'acheter.

C'est un matériau léger dont la masse volumique est comprise entre 30 et 60 kg/m^3 et jusqu'à 80 kg/m^3 pour les panneaux. Les performances thermiques sont bonnes, dans la moyenne des laines isolantes, avec un coefficient de conductivité thermique lambda de 0,043 W/m.K. C'est également un excellent isolant acoustique.
Il est peu sensible à l'humidité et offre une bonne perméabilité à la vapeur d'eau,

ce qui permet de réguler le taux d'hygrométrie à l'intérieur de l'habitation.
Le prix, encore assez élevé, dépend principalement de la disponibilité de la matière première. Les produits isolants en kenaf existent en panneaux et en rouleaux. Ils sont utilisables pour tous les besoins d'isolation courants des murs, planchers ou toitures. Dans certains cas, il faudra ajouter un pare-vapeur, ou un freine-vapeur, si le produit de base n'en est pas pourvu, notamment en cas d'isolation par l'intérieur.

Les fibres de coco et le corkoco

Les fibres de coco (figure 79) sont des fibres multicellulaires dures issues de la bourre entourant la coque des noix du cocotier (*Cocos Nucifera*). C'est un épais mésocarpe fibreux composé en majeure partie de cellulose. Également appelées coir, elles constituent une matière première totalement naturelle, appréciée notamment pour le rembourrage dans l'ameublement. Elles sont cultivées principalement en Asie du sud-est (Inde, Sri Lanka, Thaïlande...) et sont défibrées dans des usines locales. Comme d'autres fibres végétales, elles peuvent être mises à profit pour la fabrication de produits efficaces pour l'isolation thermique et acoustique. C'est aussi un exemple parfait de produit écologique ne causant pas de dommages à l'environnement. Ces fibres représentent environ 35 % de la bourre, le reste étant constitué de fibrilles et de poussières de coco. Elles sont longues et blanches ou brunes en fonction de la maturation des noix.

Autrefois considérées comme un résidu de peu de valeur, elles trouvent une nouvelle utilité. Désormais considérées comme une matière première à part entière, leur utilisation est grandissante partout à travers le monde.
Le processus de fabrication des isolants à base de fibre de coco est totalement naturel et ne nécessite aucun recours à des substances chimiques. Le coir est extrait, séché, puis cardé et tissé pour former un matelas. Après pressage, on atteint la rigidité nécessaire pour la confection de panneaux, de plaques ou de bandes, par découpe.

D'autres isolants naturels peuvent être combinés avec cette fibre. En y ajoutant du liège, on obtient du corkoco, ce qui offre la possibilité d'associer les avantages des différents matériaux, notamment en ce qui concerne les performances acoustiques qui deviennent alors très intéressantes. Le liège apporte au matériau isolant une nouvelle résistance et offre une stabilité dimensionnelle élevée, pratique pour certaines applications.
Les fibres de coco sont assez denses. Leur masse volumique est comprise entre 20 et 125 kg/m^3 selon qu'elles se présentent sous forme de laine ou de panneaux.
Elles sont sans danger pour la santé et l'environnement, à la mise en œuvre, pendant la durée de vie du produit ou lorsqu'il devient un déchet. De plus, l'utilisation de liants chimiques n'est pas nécessaire pour la fabrication des panneaux.
L'énergie grise nécessaire à leur fabrication est faible. La matière première entraîne des coûts de transport puisqu'elle est importée.

Les performances thermiques sont bonnes, comprises entre 0,037 et 0,045 W/m.K. Les panneaux de coco offrent des performances acoustiques excellentes. Ils permettent de réduire sensiblement les bruits d'impact et aériens.

1 La fibre des noix de coco
2 Rouleau de fibre de coco
3 Panneaux de corkoco
4 Panneaux de fibre de coco

Figure 79 : Les fibres de coco et le corkoco

Les fibres de coco laissent passer la vapeur d'eau sans craindre l'humidité, car elles sont naturellement peu absorbantes. En cas de présence temporaire d'eau, elles sèchent rapidement ensuite. Elles sont imputrescibles et ne craignent pas les insectes ni les champignons. Elles sont réputées pour leur élasticité et leur durabilité, même en extérieur et offrent une bonne stabilité dimensionnelle.

Le prix moyen des isolants en coco est encore assez élevé. Ils existent en rouleaux, en panneaux ou en vrac et permettent d'isoler les vides des planchers bois, des ossatures... et les applications classiques en isolation thermique ou acoustique.
Le corkoco est généralement commercialisé sous formes de panneaux de 40 mm d'épaisseur comprenant une couche de liège et une couche de fibres de coco ou un panneau de liège pris en sandwich entre deux tapis de coco.
Il constitue un excellent complexe isolant thermo-acoustique. La masse volumique des panneaux est de 110 à 120 kg/m^3. Il offre une résistance thermique de 1,0 m^2.K/W et une excellente stabilité dimensionnelle. La perméabilité à la vapeur d'eau est moyenne comme pour le liège. Les panneaux de corkoco sont utilisés pour l'isolation thermo-acoustique des sols, des cloisons ou des toitures.

Le liège

Le chêne-liège (*Quercus suber*) (figure 80) est présent en méditerranée occidentale depuis plus de 60 millions d'années. Depuis l'Antiquité, son écorce est récoltée et exploitée pour une multitude d'usages.
À partir du XVIIe siècle, le développement de l'industrie du verre et la fabrication de bouteilles développe la filière liège. Le bouchon de liège devient la meilleure matière pour conserver les vins. Ainsi se développe la subériculture ou la culture du chêne-liège, principalement au Portugal et en Espagne. En France, le développement est important au XIXe siècle, cependant, depuis les années 50, les suberaies sont délaissées à cause de la concurrence étrangère et de l'arrivée en force des matières plastiques.
Aujourd'hui, quatre pays assurent plus de 90 % de la production mondiale : le Portugal (54 %), l'Espagne, le Maroc et l'Algérie. Le reste est produit par la France, l'Italie et la Tunisie. La surface mondiale totale de suberaies couvre plus de 2,6 millions d'hectares.

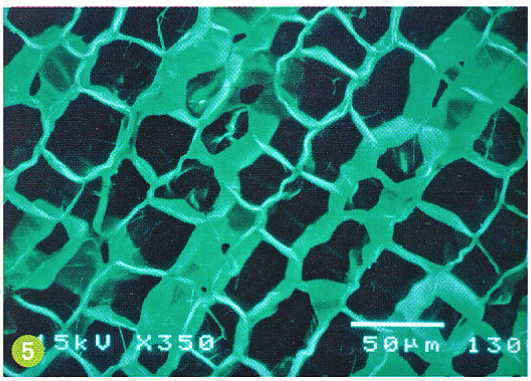
Le chêne-liège est une essence exigeante en chaleur et en humidité. Il n'aime pas les sols calcaires et nécessite une forte insolation pour son développement (on parle d'espèce héliophile, aimant le soleil).
De croissance assez lente, le chêne-liège atteint généralement 10 à 15 mètres à maturité et peu vivre de 300 à 500 ans. S'il est exploité, sa durée de vie ne dépasse pas 200 ans.
Le liège est l'unique produit issu du chêne-liège. Sur l'arbre, on distingue deux sortes de lièges : le liège mâle et le liège femelle. Le liège mâle est la première écorce récoltée, elle apparaît après 30 à 40 ans. De mauvaise qualité, il est refusé pour les produits de bouchonnerie, car il est compact, siliceux et dépourvu d'élasticité. Après cette période, se développe une nouvelle écorce liègeuse, plus homogène, plus élastique et moins crevassée : c'est le liège femelle, le plus recherché. Lorsque l'épaisseur de cette nouvelle écorce atteint 30 mm, soit un nouveau délai de 9 à 15 ans, on considère qu'elle est exploitable. La récolte s'appelle la levée. Un arbre donne en moyenne 12 récoltes.

Le liège femelle est utilisé pour l'industrie du liège naturel et de l'aggloméré (bouchons, jouets, panneaux d'affichage...).
Pour fabriquer des isolants thermo-acoustiques, le liège mâle et les déchets de liège femelle suffisent. Il convient simplement de les expanser, ce qui leur

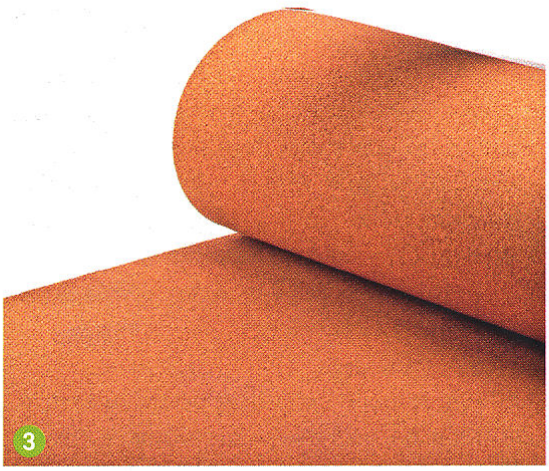
© Apcor

© Apcor

© Tecnosugheri



© Apcor


© Tecnosugheri

© Tecnosugheri

1 Le chêne liège 2 Panneaux de liège expansé 3 Rouleau de liège aggloméré 4 Récolte du liège 5 Cellules de liège expansé 6 Liège expansé en vrac

Figure 80 : Le liège

procure alors une couleur plus sombre. C'est accidentellement que l'on s'est aperçu que le liège cuit à haute température se dilatait, s'expansait et s'agglomérait avec sa propre résine, la subérine.
En exploitation industrielle, il est chauffé à 300 °C avec de la vapeur d'eau pour faciliter l'expansion.
Le liège expansé pur en plaques possède une masse volumique de 65 à 75 kg/m³, de 70 à 160 kg/m³ pour le liège en granulés. Le liège peut aussi être simplement aggloméré (non expansé) et présente dans ce cas une masse volumique de 200 à 210 kg/m³.
Il offre une très bonne inertie, avec un déphasage supérieur à une dizaine d'heures.
C'est un matériau renouvelable, écologique et recyclable. Pur, il n'a pas d'effets connus sur la santé.

Il est peu consommateur d'énergie grise si ce n'est pour son expansion, mais également le transport (80 à 90 kWh/m³).
Le liège n'est pas propagateur de la flamme, il est faiblement combustible et ne provoque pas de vapeurs nocives en cas d'incendie. Il peut résister à des températures de 120 °C (liège expansé pur), cependant cela n'est pas forcément le cas des additifs ayant servi à sa fabrication. Par exemple, le liège aggloméré peut comporter des colles polyuréthanes.
Il est imputrescible, chimiquement neutre, de faible densité, antistatique et résiste à l'eau grâce à la subérine qui imprègne ses cellules. Il est également très élastique, de bonne stabilité dimensionnelle et il ne se désagrège pas dans le temps. Il n'est pas attaqué par les insectes et les rongeurs.
Il résiste bien au tassement et est stable face aux variations de température et d'humidité.

Grâce à sa structure formée de millions de cellules microscopiques remplies d'air immobile, le liège expansé est un bon isolant thermique. Son coefficient de conductivité thermique lambda est compris entre 0,035 et 0,045 W/m.K, pour les panneaux, entre 0,043 et 0,055 W/m.K, pour les granules, et entre 0,044 et 0,049 W/m.K pour le liège aggloméré. Les performances thermiques du liège peuvent faire l'objet d'une certification ACERMI.

Les granulés sont utilisables en vrac, mais également pour confectionner des mortiers allégés isolants. Avec des granulés non expansés, on peut réaliser un mortier de 270 à 300 kg/m³ dont la conductivité thermique sera de 0,10 W/m.K. Avec des granules expansés, il est possible de faire beaucoup mieux. Pour des mortiers d'une masse volumique de 265 à 275 kg/m³ il est possible d'obtenir un coefficient lambda de 0,069 W/m.K.

Le liège offre également de bonnes capacités d'isolation acoustique, tant pour les bruits aériens que pour les bruits d'impact lorsqu'il est utilisé en sous-couche de dalle flottante, par exemple.
Le liège aggloméré est plutôt destiné à l'isolation acoustique, par exemple sous parquet flottant.
Le liège sous toutes ses formes offre une perméabilité à la vapeur d'eau moyenne.

Il reste néanmoins un matériau d'isolation assez cher. Le liège expansé est commercialisé en vrac ou en panneaux. Le liège aggloméré est disponible en plaques, en dalles et en rouleaux. Non expansé pur, il est fourni en vrac.
En granules, on peut le mettre en œuvre par déversement pour l'isolation des combles non-habitables. Sous ses autres

formes, il est indiqué pour l'isolation des planchers, des murs et des toitures.

La laine de coton

Le cotonnier de culture (*Gossypium hirsutum*) (figure 81) est un arbuste à croissance rapide pouvant atteindre 1,5 m, originaire d'Inde, où le coton était déjà tissé 3 000 ans avant notre ère, et cultivé sous toutes les latitudes chaudes. Après floraison, il produit des capsules qui, une fois matures, s'ouvrent, laissant apparaître des graines et des fibres blanches. Il est très sensible au froid, les jeunes pousses meurent en dessous de 10 °C, adore l'arrosage, mais supporte la sécheresse et craint les parasites. Cette fibre végétale que l'on ne présente plus peut servir à fabriquer des isolants pour le bâtiment. La plupart des laines de coton sont fabriquées avec des mélanges de coton naturel et de cotons recyclés issus de déchets de coupes ou de vêtements. Certains produits utilisent presque uniquement du coton recyclé, car cette ressource est abondante.

La culture du coton conventionnel (non biologique) est extrêmement polluante puisqu'elle recourt massivement aux intrants, notamment les pesticides et à l'irrigation. La majeure partie des pesticides mondiaux est déversée sur les champs de coton. C'est pourquoi il faut privilégier le coton biologique, si possible ou la laine fabriquée à partir de coton recyclé. Ces produits sont plus bénéfiques pour l'environnement puisqu'ils permettent de développer une filière de recyclage et de valoriser les vêtements usagers.

Le coton recyclé est lavé, découpé, haché, défibré, puis mélangé avec des fibres thermofusibles afin de constituer des panneaux ou des rouleaux de différentes épaisseurs.
Selon les fabricants, est privilégiée la récupération de vêtements blancs pour donner une laine blanche ou de vêtements de couleur ou de jeans pour donner une laine de couleur bleue. Le liant, généralement du polyester, peut être remplacé par des liants naturels. Ce point est à vérifier dans les composants du produit lors de l'achat. La composition de la laine de coton recyclé peut également inclure un pourcentage d'autres fibres comme de la laine de mouton et/ou de l'acrylique.

La densité de la laine de coton est comprise entre 20 et 25 kg/m^3. La laine de coton à souffler présente une densité plus faible de l'ordre de 13 kg/m^3. Une isolation thermique à base de coton apporte une faible inertie à l'habitation. Pour bénéficier d'effet d'inertie, il faut employer des laines plus denses et plus compactes dont la masse volumique est comprise entre 50 et 75 kg/m^3.

En revanche, lorsqu'elle est appliquée par insufflation (combles, vides de construction...), la laine de coton en vrac dégage beaucoup de poussière. L'applicateur doit donc utiliser des dispositifs de protection adéquats (masque, lunettes...).
Le coton est un matériau biodégradable, voire compostable, recyclable ou réutilisable.

Pour un isolant constitué d'une majorité de coton vierge, sa culture et son transport demandent une forte proportion d'énergie grise. Le coton issu du recyclage a un bilan beaucoup plus positif.
Le coton par lui-même ne présente pas de danger sanitaire, il ne provoque pas

Figure 81 :
Les isolants en coton

de dégagements toxiques pendant son cycle de vie, ni en cas d'incendie.
La laine de coton doit être traitée contre les moisissures, les champignons, les insectes xylophages, les acariens et le feu. Il y a lieu de s'informer sur l'innocuité des produits utilisés et de choisir quand c'est possible des produits sans additifs chimiques.

La laine de coton a tendance à se tasser dans le temps lorsqu'elle est utilisée en isolation verticale. En revanche, elle ne se tasse pas après une humidification partielle. Elle n'est pas très résistante à la compression et n'est pas utilisée en isolation sous plancher ou chape flottante, sauf sous forme de feutre de faible épaisseur et pour des besoins d'isolation acoustiques principalement.
Le coefficient de conductivité thermique de la laine de coton en rouleau se situe entre 0,037 et 0,040 W/m.K et entre 0,037 et 0,042 W/m.K pour la laine de coton en vrac.
Les performances acoustiques sont bonnes pour l'isolation contre les bruits aériens.
Elle est très perméable à la vapeur d'eau et hygroscopique, c'est-à-dire un bon régulateur de l'hygrométrie de l'air. Les fibres très fines, légères et résistantes, absorbent et restituent l'humidité. Néanmoins, le coefficient lambda diminue (plus de 10%) lorsque la laine est humide, mais elle retrouve ensuite ses performances thermiques. Souvent, selon les applications, la pose d'un freine-vapeur est recommandée.

La laine de coton est proposée à un prix assez élevé. La laine issue du recyclage offre des prix plus attractifs.
La laine de coton est utilisée pour l'isolation des murs, toitures, planchers et cloisons.

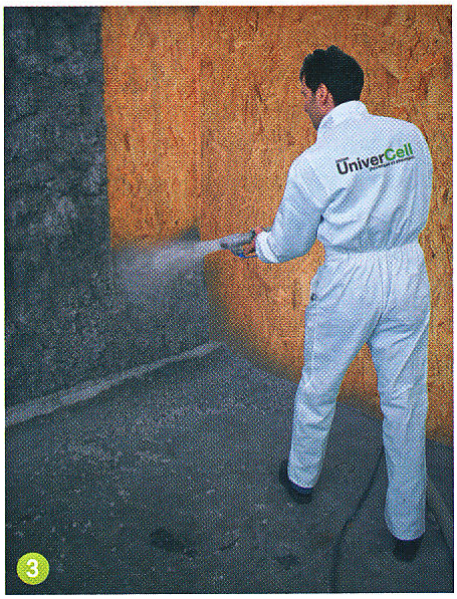
La ouate de cellulose

La ouate de cellulose (figure 82) est issue du recyclage du papier. Elle est fabriquée à partir de journaux recyclés et de déchets de coupes de papier neuf d'imprimerie. Le papier est broyé, défibré, puis malaxé avec des produits de traitement pour résister au feu, aux insectes, aux rongeurs et aux moisissures. Le traitement peut être à base d'acide borique, de borax, d'hydrate d'alumine, de phosphate d'ammonium ou de tanin fongicide extrait d'écorces. Les fabricants essayent de réduire au maximum le pourcentage des additifs pour ne pas dépasser 12 % du poids du produit. Généralement de couleur grise, les isolants en ouate de cellulose existent également dans d'autres couleurs.
Les panneaux de ouate sont thermoliés, généralement avec des fibres polyoléfines (polyéthylène ou polypropylène) chimiquement inertes.

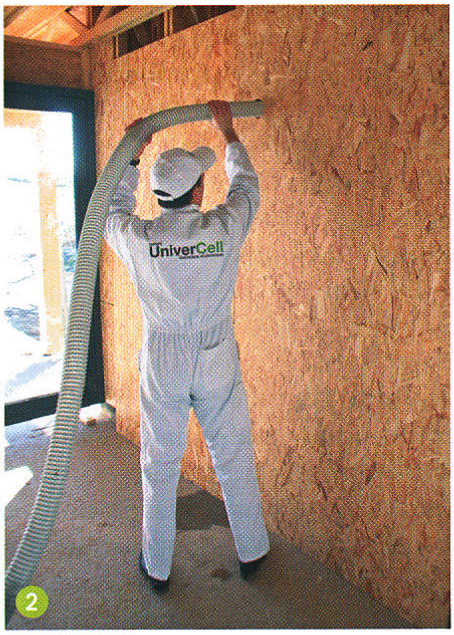
La masse volumique de la ouate de cellulose en vrac est de 30 à 40 kg/m³ pour l'insufflation à sec, de 30 à 50 kg/m³ pour la projection avec apport d'eau, de 35 à 60 kg/m³ pour l'épandage manuel à sec dans les combles, de 45 à 50 kg/m³ pour l'épandage dans les combles avec apport d'eau, de 45 à 65 kg/m³ pour le remplissage de caissons de murs et pour les caissons de toiture. Les panneaux manufacturés ont une masse volumique comprise entre 70 et 100 kg/m³.
La ouate de cellulose fait partie des isolants qui apportent la meilleure inertie aux bâtiments avec un temps de déphasage important pouvant atteindre de 10 à 12 heures.
C'est un produit non irritant et biodégradable. Néanmoins il dégage beaucoup de poussière et de fibres, de bore et d'autres composants comme des résidus d'encres, notamment en cas d'insufflation. En effet, si elles en sont aujourd'hui dépourvues en Europe, certaines encres d'imprimeries peuvent encore contenir des métaux lourds. Il y a lieu également de se renseigner sur la provenance du papier utilisé pour sa confection.
Pendant la mise en œuvre, l'applicateur doit s'équiper d'un masque de type P2, de gants et de lunettes de protection. Une bonne ventilation de l'espace de travail est nécessaire. Après la mise en œuvre, se laver soigneusement à l'eau chaude et au savon.
Une fois la cellulose installée dans des espaces clos et étanches, on ne remarque pas de persistance des fibres dans l'air intérieur.
En tant qu'isolant issu de ressources renouvelables recyclées, elle peut à son tour être recyclée. Si elle ne contient pas de sels de bore, elle peut aussi être compostée.

La ouate de cellulose est l'un des isolants qui demande le moins d'énergie grise pour son élaboration et elle encourage les filières de valorisation des déchets.
À l'état pur, la cellulose est inflammable. Par conséquent, il est impératif de la traiter avec des retardateurs de feu. Comme indiqué, il s'agit souvent de sels de bore. Elle ne contribue pas au développement du feu, ne propage pas la flamme et l'émission de gaz toxiques et de fumées reste faible. Néanmoins, on ne doit pas mettre le matériau en contact avec les conduits de fumée et vérifier la conformité des installations électriques. Il ne doit pas y avoir de conduits propagateurs de la flamme, ni de spots encastrés ou de transformateurs directement en contact avec le produit.
La ouate de cellulose est sensible au tassement. Dans les combles, en épandage

© Steico

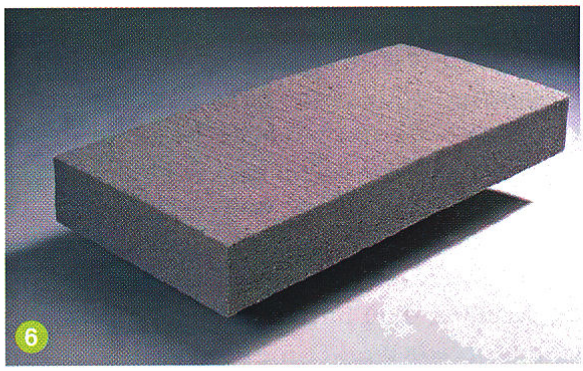


© Univercell



© Univercell

© Univercell



© Homatherm

1. Remplissage de murs préfabriqués pour maison à ossature bois
2. Insufflation de ouate de cellulose
3. Pulvérisation de ouate de cellulose
4. Granulés de fibres de cellulose pour plancher de fibres de cellulose
5. Cellulose en vrac
6. Panneau de cellulose

Figure 82 : Les isolants en ouate de cellulose

manuel ou par soufflage, il faut intégrer un tassement de 20 % dans le calcul des performances thermiques. Les isolants bénéficiant d'un Avis Technique prennent en compte ce tassement. Pour les autres applications, on constate des tassements de 8 à 10 % dus principalement aux variations climatiques.

Le coefficient de conductivité thermique de la cellulose en vrac est compris entre 0,038 et 0,043 W/m.K. Il est égal à 0,039 W/m.K pour les panneaux. Préférez des produits bénéficiant d'un Avis Technique attestant ses performances.

Grâce à sa légèreté et à sa souplesse, lorsqu'elle est insufflée, la ouate de cellulose peut se répandre dans les moindres recoins, ce qui permet de réduire sensiblement les ponts thermiques ou phoniques et de renforcer l'étanchéité à l'air.

Elle dissipe les ondes sonores et est très efficace contre les bruits aériens intérieurs et extérieurs.

Sa perméabilité à la vapeur d'eau est grande. Elle est capillaire, hydrophile et hygroscopique. Elle peut absorber jusqu'à 15 % de son poids en humidité, c'est donc un bon régulateur hygrométrique.

En revanche, en cas de contact prolongé avec l'eau, elle a tendance à se tasser et à s'agglomérer, d'où une nette diminution des performances.

C'est un isolant d'un coût abordable avec une offre commerciale importante.

En vrac, la ouate de cellulose est utilisée comme isolant de remplissage pour les murs des maisons à ossature bois, les cloisons intérieures, les vides de constructions (bâtiments traditionnels), dans les compartiments fermés entre poutres bois et chevrons, pour les combles perdus ou entre solives des planchers. Elle doit être utilisée uniquement dans les constructions à l'abri des précipitations, des intempéries et ne présentant pas de problème d'humidité.

L'application par soufflage sous pression est effectuée généralement par des entreprises spécialisées étant donné la spécificité du matériel utilisé et du savoir-faire nécessaire. La pose par épandage manuel est plus aisée, mais demeure délicate, car il convient de respecter une hauteur constante selon les performances thermiques recherchées et d'assurer un remplissage homogène.

Les panneaux de ouate de cellulose sont utilisés pour l'isolation entre chevrons, entre solives, dans un faux plafond ou un plancher, pour les cloisons intérieures et les maisons à ossature bois.

Il existe également des granulés de cellulose comprimée d'un diamètre de 4 mm. Ils sont utilisés pour l'épandage dans les combles ou le remplissage des planchers. Ils ont une densité de 500 kg/m^3. Leur coefficient de conductivité thermique est de 0,069 W/m.K.

Les isolants à base de bois

Le bois est une matière naturelle renouvelable idéale pour la conception d'isolants pour plusieurs raisons : pratiques, économiques ou écologiques. Si elle est bien gérée, la ressource est inépuisable. Au cours de sa croissance, un arbre absorbe, en moyenne, environ 1 t de CO_2 tout en produisant dans le même temps 0,7 t d'oxygène. C'est pourquoi les forêts sont considérées comme des puits à carbone. Le CO_2 absorbé sous forme de carbone reste fixé dans le produit fini. Il ne se libère de nouveau dans l'atmosphère qu'en cas de combustion.

Évidemment, le prélèvement ne doit pas être effectué n'importe comment. Pour lutter contre la déforestation, il faut

privilégier les isolants dont la matière première provient de forêts gérées durablement. C'est le cas des produits bénéficiant des labels FSC ou PEFC.
De même, préférez les produits issus de coupes d'éclaircissage ou de déchets de scieries non traités. Ces points doivent être précisés par les fabricants sur les étiquettes ou dans les fiches descriptives des produits.
Il est possible de fabriquer plusieurs types d'isolants avec le bois comme les panneaux en fibres de bois compressé, les panneaux en fibres de bois flexibles et compressibles ou « laines de bois », les fibragglos, les fibres en vrac ou les granulés.

Les **isolants en fibres de bois** (figure 83) se présentent sous la forme de panneaux rigides de différentes densités. Leurs côtés peuvent être bouvetés ou lisses. Il existe également des panneaux semi-rigides ou « laines de bois » et des panneaux bouvetés ayant reçu un traitement pare-pluie à base de latex.

La cohésion du produit, lors du processus de fabrication humide, est obtenue grâce à la lignite du bois (figure 84). Les principales essences généralement utilisées sont celles de résineux comme le sapin, l'épicéa, le mélèze ou le pin. Elles sont appréciées pour la qualité de leurs fibres. Les sous-produits de scierie comme les délignures, les dosses et les plaquettes sont privilégiés. Tous ces résidus sont déchiquetés, étuvés avec apport de vapeur d'eau sous pression, puis défibrés. Les fibres obtenues sont mélangées à de l'eau, brassées dans des cuves, pressées mécaniquement, puis découpées en panneaux. Les panneaux encore mous de fibres de bois passent ensuite dans des séchoirs dont la température est comprise entre 160 et 200 °C. Aucun ajout de colle n'est effectué, cependant pour certaines applications spécifiques, il peut être nécessaire d'ajouter des sous-produits comme le bitume ou des résines. Les panneaux issus de la chaîne de production ont une épaisseur comprise entre 8 et 30 mm. Pour fabriquer des éléments plus épais, on colle plusieurs couches entre elles au moyen de colle blanche à bois.
Il existe une autre méthode de fabrication, à sec. Elle consiste à ajouter aux fibres des liants en petite quantité comme de la résine de polyuréthane. Le bois est déchiqueté en plaquettes, défibré par traitement thermomécanique. Les fibres sont encollées et séchées. Le mélange est pressé, refroidi et mis au format.
Pour la fabrication des laines de bois, les fibres du matelas isolant sont thermoliées avec des fibres de polyoléfines et traitées avec du phosphate d'ammonium contre l'incendie. Il existe également des isolants entièrement naturels sans recours aux additifs pétrochimiques dont les liants sont des fibres textiles extraites du maïs.
Les fibres de bois existent également en vrac pour la mise en œuvre par insufflation. Elles sont traitées avec du phosphate d'ammonium et de l'acide de bore.
Les panneaux de fibres rigides destinés au sarking, en tant que pare-pluie, se doivent d'être hydrophobes. Ils reçoivent donc un traitement au bitume, à la paraffine ou à base de produits naturels comme le silicate ou le latex. Contre les moisissures, du sulfate d'aluminium peut être utilisé. Il est sans danger.
La masse volumique des panneaux de fibres est comprise entre 110 et 250 kg/m^3. Elle est de 50 kg/m^3 pour les laines de bois.

Figure 83 : Fibres, laine et panneaux de fibres de bois

Les isolants à base de fibres de bois sont les champions de l'inertie. Ils sont très appréciés pour leur capacité à accumuler de la chaleur, ce qui permet d'améliorer grandement le confort d'été, notamment dans les combles. Des panneaux de fibres de bois de 120 mm d'épaisseur retardent l'entrée de la chaleur dans la maison en offrant un déphasage pouvant atteindre 13 heures. Il est même possible d'atteindre un déphasage record de 15 heures.
Les isolants à base de fibres de bois ne présentent pas de danger pour la santé. Néanmoins, vérifiez les produits additifs qui entrent dans leur composition, par exemple, les panneaux au bitume peuvent dégager des COV lorsqu'ils sont exposés à la chaleur en toiture.
Le bois est un matériau renouvelable, les isolants en fin de vie peuvent être compostés s'ils ne contiennent pas de produits chimiques. Préférez les produits bénéficiant de labels écologiques comme Nature Plus, par exemple.
Si les laines ne requièrent pas beaucoup d'énergie grise (de 13 à 50 kWh/m^3),

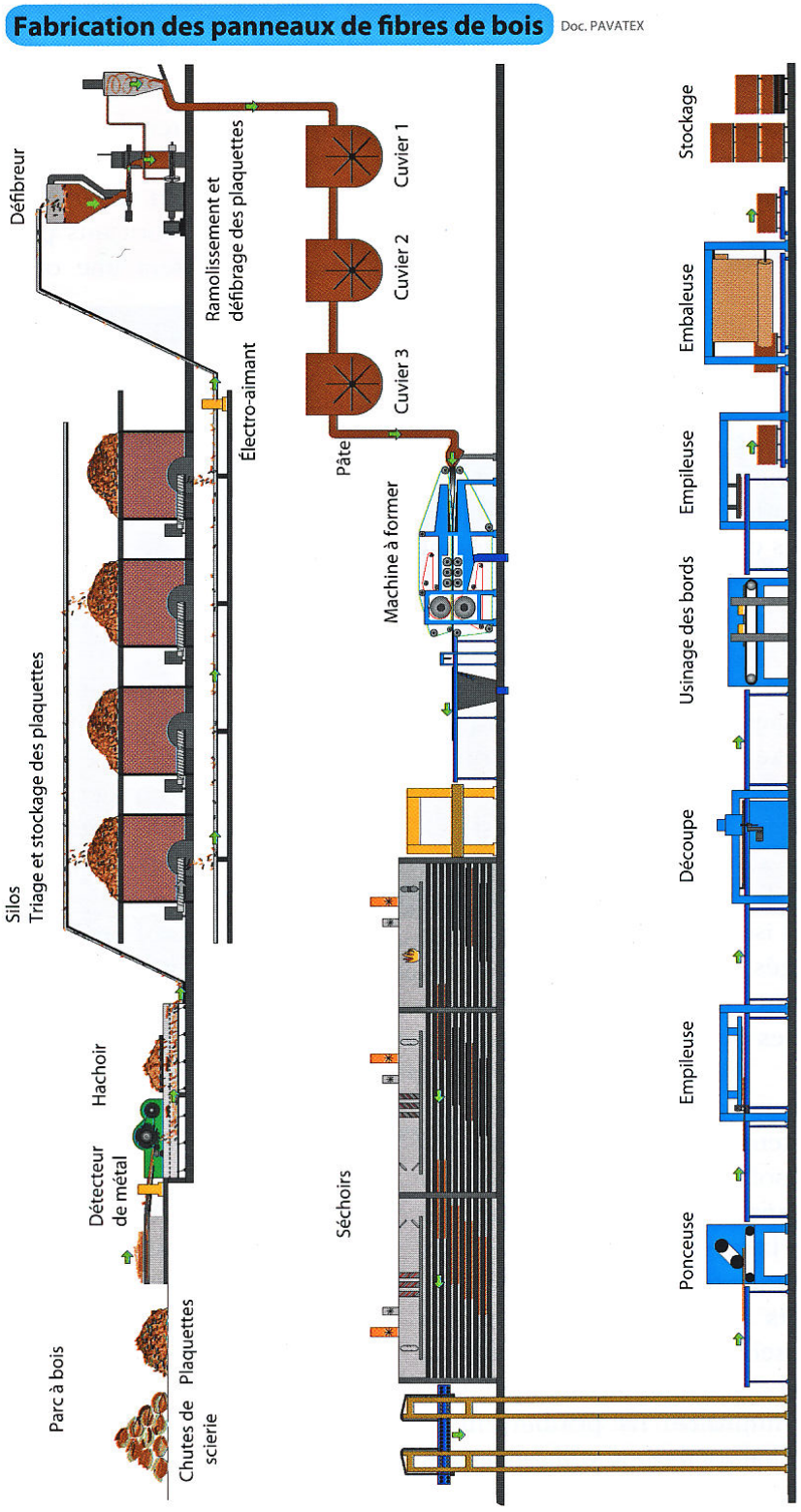


Figure 84 : La fabrication des panneaux en fibres de bois

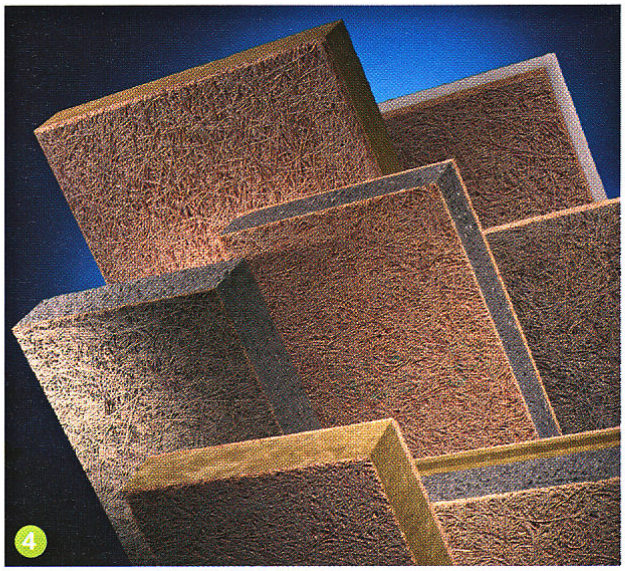
la fabrication des panneaux de fibres est plus gourmande, soit de 800 à 1 400 kWh/m³ nécessaires. Le transport reste un inconvénient dans le bilan écologique de ces produits, encore peu fabriqués en France.
Le coefficient de conductivité thermique est compris entre 0,039 et 0,049 W/m.K pour les panneaux. Il est de 0,038 W/m.K pour la laine de bois et de 0,040 W/m.K pour les fibres en vrac. Comme pour tout type d'isolant, préférez des produits ayant reçu une certification ACERMI.
Le bon comportement au feu est assuré par ignifugation lors de la fabrication. De plus, en cas d'incendie, lorsque l'isolant est attaqué par la flamme, il se forme généralement une couche de bois carbonisé qui empêche l'apport d'oxygène et la propagation rapide du feu. Il n'y a pas de dégagement de fumées toxiques. Les panneaux sont classés E selon la réglementation européenne, c'est-à-dire qu'ils sont capables de résister à une brève attaque de petites flammes en limitant leur propagation. Comme la plupart des isolants végétaux, ils doivent être protégés de la partie habitable par des matériaux non inflammables, généralement des plaques de plâtre.

Les panneaux en fibres de bois et les laines présentent de très bonnes performances pour l'isolation acoustique, contre les bruits aériens et les bruits d'impact. Ils présentent la faculté d'absorber les sons dans toutes les plages de fréquences.
Les isolants à base de fibres de bois sont hygroscopiques : ils sont ouverts à la diffusion de vapeur d'eau et peuvent stocker l'humidité. Ils permettent la régulation hygrométrique de la maison et assainissent l'air ambiant. Dans ce domaine, les laines se révèlent légèrement meilleures que les panneaux à forte densité. Néanmoins, dans tous les cas, il convient de protéger l'isolant du contact direct de l'eau ou de l'humidité. La pose d'un freine-vapeur est souvent préconisée.
Le prix en fait un matériau abordable et de nombreux fabricants présents sur le marché proposent une offre variée de produits.
La laine de bois est utilisée pour l'isolation des solives, entre chevrons, ou sur les planchers des combles non aménagés, à l'intérieur des plafonds, pour les bâtiments à ossature bois, ou pour l'isolation intérieure des murs et des cloisons.
Les panneaux de fibres de bois sont utilisés pour l'isolation des toitures par l'extérieur, ou par l'intérieur entre chevrons ou solives, entre solives pour les combles perdus, pour l'isolation sous dalles ou planchers, l'isolation extérieure des murs sous bardages (ou sous enduit hydraulique pour certains produits), l'isolation des bâtiments à ossature bois, l'isolation par l'intérieur des murs et pour les cloisons.
Les panneaux de fibres pare-pluie remplacent avantageusement le film sous toiture tout en apportant de l'inertie.
Les fibres de bois en vrac sont destinées au remplissage des cavités fermées comme les vides de toitures en pente, les cloisons et les planchers.

Les **fibragglos** (figure 85) sont des matériaux naturels fabriqués à partir de fibres longues minéralisées de résineux de pays et enrobées de ciment, de chaux, de plâtre ou de magnésie.

Le bois est stocké à l'extérieur sous forme de bûches, où il est séché à l'air pendant un mois au minimum. Les bûches sont ensuite râpées pour donner des fibres de 3 à 5 mm de largeur et de 0,3 mm

© Tecnosugheri



© Knauf

© Knauf

1. Granulés de bois minéralisés
2. Fibres de bois longues
3. Panneau de fibragglos
4. Panneaux composites de fibragglos
5. Plafond isolé en panneaux de fibragglos

Figure 85 : Les fibragglos

d'épaisseur environ. La laine de bois obtenue a un faible taux d'humidité. Elle est plongée dans une solution aqueuse sans chlorure afin d'être minéralisée. Elle est ensuite envoyée automatiquement dans un mélangeur qui assure une répartition homogène du bois et du ciment.
Leur densité est comprise entre 340 et 390 kg/m³. Ils offrent une bonne inertie thermique, qui peut être utilisée pour améliorer le confort thermique du bâtiment.
Le matériau ne présente pas de risque particulier pour la santé ou l'environnement, durant son cycle de vie ou une fois à l'état de déchet (inerte). L'énergie grise est assez importante pour les produits à base de ciment.
Leur conductivité thermique est élevée avec un lambda de 0,08 W/m.K ce qui en fait un matériau aux performances peu intéressantes pour l'isolation thermique. Ils sont indiqués principalement en

complément d'isolation ou pour l'isolation acoustique. Ils sont efficaces contre les bruits aériens et d'impact. Ils offrent une bonne correction acoustique dans les locaux à forte résonance du fait de leur structure qui absorbe efficacement les sons.
Ils sont classés B au feu en Euroclasse.
Ils sont durables puisqu'insensibles aux rongeurs, aux termites et à l'humidité.
Les fibragglos sont très perméables à la vapeur d'eau. Ils permettent de réguler l'humidité relative de l'air.
Ils peuvent servir de support d'enduit et sont appréciés pour leur résistance à la compression.
D'un prix abordable, leur utilisation la plus courante est horizontalement en sous-face des dalles ou pour l'isolation de murs en béton, en fond de coffrage ou en pose rapportée.

Les **fibragglos composites** sont une variante des panneaux de fibragglos. En effet, ceux-ci peuvent avantageusement être combinés à un autre isolant : PSE, PSE élastifié, PSE argent ou laine minérale. L'isolant rapporté peut être sur une face ou pris en sandwich entre deux épaisseurs de fibragglos.

La masse volumique, l'inertie et le comportement au feu de ces matériaux dépendent des performances individuelles de chacun des matériaux constituant le complexe. La combinaison de plusieurs matériaux dans un même produit rend leur recyclage difficile. L'énergie grise est assez importante puisqu'il y a souvent recours au ciment et à des laines minérales ou à des produits pétrochimiques.
La résistance thermique R de ce type de panneaux (le lambda ne concerne que les matériaux homogènes) peut atteindre 2,95 m².K/W pour une épaisseur de 100 mm et 4,45 m².K/W pour une épaisseur de 150 mm.
Ils sont tout à fait indiqués pour l'isolation et la correction acoustiques.
Les utilisations principales des panneaux composites de fibragglos, de prix moyen, sont l'isolation des parties hautes des sous-sols, parkings, vides sanitaires ainsi que des parois verticales, notamment comme support d'enduit.
En plafond, ils sont posés en fond de coffrage avant le coulage de la dalle ou rapportés en sous-face par fixation mécanique.

Le **bois minéralisé** est issu de bois d'éclaircie de petit diamètre et de déchets d'entretien des forêts. L'essence couramment utilisée est l'épicéa. Il ne s'agit pas d'un matériau isolant à proprement parler, cependant il peut améliorer les performances thermiques et acoustiques.
Les troncs sont déchiquetés en plaquettes de 20 mm, puis passent dans une broyeuse ou la granulométrie est contrôlée.
Les granulats sont chauffés afin d'en retirer toute l'eau, puis trempés dans un bain de solution minéralisante alcaline. Ce traitement thermique et par minéralisation, permet d'éliminer les variations dimensionnelles du bois tout en lui conservant des propriétés d'élasticité et de résistance.
Les granulats obtenus permettent de remplacer le gravier dans les bétons et les mortiers allégés isolants thermiques et acoustiques. Leurs performances mécaniques restent élevées en compression et en flexion. On peut y pratiquer des fixations par vissage ou clouage.
Pour obtenir un béton aux qualités requises, il convient de mélanger en bétonnière les éléments suivants dans l'ordre : sable, ciment (CPJ CEM II/A

ou B 32,5), 2/3 de l'eau, granulats, puis reste de l'eau. Pour un béton dosé en ciment à 300 kg/m³, on utilise 900 litres de granulats, 300 kg de ciment, 210 litres de sable et 180 litres d'eau.
La conductivité thermique de ce mélange après séchage complet sera de 0,20 W/m.K.
Pour un béton à 400 kg/m³, on utilise 800 litres de granulats, 400 kg de ciment, 320 litres de sable et 220 litres d'eau. La conductivité thermique de ce mélange sera de 0,38 W/m.K.

Selon les applications, ces bétons sont renforcés par un treillis métallique soudé ou des fibres synthétiques. Il y a lieu de le protéger des remontées d'humidité notamment en cas de dallage sur terre-plein, au moyen d'un film d'étanchéité.
Pour un béton de ravoirage, on utilise 1 000 litres de granulats, 300 kg de ciment, 160 litres d'eau. La conductivité thermique de ce mélange est de 0,11 W/m.K.
La conductivité thermique des granulats seuls est de 0,07 W/m.K.

La paille de lavande

L'exploitation de la lavande pour en extraire l'huile essentielle produit une grande quantité de paille chaque année, soit plus de 110 000 tonnes, qu'il est difficile de valoriser.

L'isolation constitue une manière de recycler ce matériau entièrement naturel. La paille de lavande provient du broyage de gerbes ou du vert broyé de la lavande après distillation. La technique de distillation en vert broyé est récente et destinée à améliorer la productivité. Sitôt cueillie, la plante est hachée et mise en distillation sans séchage.

Elle peut être utilisée en vrac pour une isolation par déversement (combles non habités, par exemple) ou être utilisée en mortier allégé et isolant. Si elle est associée à de la chaux aérienne, sa forte teneur en silice favorise le processus de carbonatation (phase de prise de la chaux). En ajoutant de la pouzzolane et du plâtre à ce mélange, on peut réaliser des blocs de construction non porteurs qui seront utiles, par exemple, pour remplir les ossatures des maisons en bois. La paille hachée peut aussi entrer dans la composition d'enduits isolants. La filière demande à se développer puisqu'elle constitue un excellent moyen de valorisation des déchets végétaux *a priori* sans valeur.

En vrac, la paille de lavande possède une masse volumique de 110 kg/m³. Pour un mortier de toiture, la masse volumique est comprise entre 160 et 450 kg/m³. Pour les blocs de construction, elle est de 450 kg/m³. Cet isolant offre une bonne inertie pour l'habitation, appréciable notamment pour le confort d'été.
La paille de lavande (figure 86) ne présente aucun risque sanitaire. C'est une ressource renouvelable disponible en grande quantité, totalement recyclable et compostable. La confection du produit ne requiert pas beaucoup d'énergie grise, soit environ 4 kWh/m³ pour la paille en vrac, 70 kWh/m³ pour le mortier de toiture et 100 kWh/m³ pour les blocs de construction.

Comme la plupart des isolants végétaux, c'est un matériau inflammable, notamment sous sa forme en vrac, mais il ne dégage pas d'émanations dangereuses en cas d'inflammation. En outre, il n'est pas destiné à rester apparent. La paille de lavande présente une résistance naturelle

© DFIG

Figure 86 : La paille de lavande

aux micro-organismes grâce à la silice qu'elle contient. De plus, il subsiste toujours dans les fibres entre 2 et 3 % d'huile essentielle, qui joue le rôle de répulsif contre les insectes. La tenue mécanique et la durabilité sont bonnes.

Les coefficients de conductivité thermique annoncés sont de 0,055 W/m.K pour la paille en vrac et 0,075 W/m.K pour les blocs de construction.

C'est un matériau perméable à la vapeur d'eau et bon régulateur hygrothermique permettant d'absorber les excès temporaires d'humidité à l'intérieur de la maison. Même si la paille de lavande est imputrescible, il convient d'éviter l'exposition prolongée à l'eau, ce qui lui ferait perdre ses capacités thermiques. C'est pourquoi, l'utilisation d'un freine-vapeur est conseillé.

Cet isolant n'est pas coûteux, cependant la filière est peu développée. On l'utilise en vrac pour l'isolation des combles non habitables, pour la fabrication de mortier allégé pour caissons de toiture (figure 76) et en remplissage de vides de construction (murs, cloisons).

Les roseaux

Beaucoup d'autres produits naturels végétaux pourraient également être valorisés pour réaliser des isolants. Les possibilités seraient quasi infinies, aussi ne sont présentés dans ce chapitre que les produits manufacturés, y compris ceux issus de productions artisanales. Cependant, on pourrait également citer le roseau (figure 87) utilisé pour la réalisation de toitures en chaume. Commercialisé sous la forme de treillis, il peut être utilisé comme isolant thermique ou comme support d'enduit à la terre ou à la chaux. Il existe également sous forme de panneaux isolants de 20 à 50 mm d'épaisseur.

Le coefficient de conductivité thermique (lambda) des treillis de roseau est moyen par rapport à d'autres isolants, avec 0,056 W/m.K.

© Schilf

Figure 87 : Les roseaux

Les isolants d'origine animale

Nombre d'animaux ont su développer des systèmes efficaces pour assurer leur propre isolation thermique et résister aux plus grands froids. Nous savons depuis longtemps apprécier les fibres qu'ils produisent pour nos vêtements. Désormais, nous les employons aussi pour protéger nos maisons de façon efficace et naturelle. Différents types de poils, laines et plumes seraient utilisables pour répondre aux besoins d'isolation thermique ou acoustique. Toute bête à poils ou à plumes pourrait potentiellement faire l'affaire.
En réalité, la rentabilité, la disponibilité et les nécessités économiques restreignent toutefois l'usage des produits animaux essentiellement à la laine de mouton et aux plumes de canard. Ces produits sont certes naturels, mais il est difficile de les déclarer comme intrinsèquement écologiques. Tout dépend de la façon dont ont été élevés et nourris les animaux et dans quel but. L'élevage ne doit pas avoir pour seul objectif la production d'isolants, ce qui serait cher, polluant et négatif pour l'environnement, mais être le fruit d'une volonté de valorisation des déchets. Cela est particulièrement vrai pour les canards qui sont avant tout élevés pour leur viande. Les isolants d'origine animale, comme les isolants végétaux, présentent de nombreux avantages. Ils peuvent aussi être source d'inconvénients si les produits sont de qualité moyenne ou si la mise en œuvre n'est pas correctement réalisée.

La laine de mouton

Les principaux pays producteurs de laine (figure 88) dans le monde sont l'Australie et la Nouvelle-Zélande. Ils proposent historiquement une grande quantité de laine, ce qui a entraîné la nette diminution des cours au fil des ans. En France, l'élevage des ovins est en diminution constante. Ils le sont principalement pour leur viande et leur lait et non pas pour leur laine. La filière de valorisation de la laine est encore peu développée. Les débouchés pour la laine de mouton comme isolant thermique sont pourtant potentiellement bons. Une filière organisée permettrait de valoriser les laines de basse ou de moyenne qualité qui constituent des déchets dans d'autres industries où elles ne sont pas utilisées et finissent brûlées. Les races françaises produisent pourtant des laines caractéristiques avec leur frisure et leurs fibres creuses, qui, en emmagasinant une grande quantité d'air, offrent un fort pouvoir d'isolation. Une telle filière permettrait également de dynamiser l'élevage ovin, qui présente, en outre, l'avantage d'être un excellent moyen d'assurer le débroussaillage dans les zones à fort risque d'incendie. En ce sens l'utilisation de la laine comme isolant devient très intéressante du point de vue écologique.

Après la tonte, la laine du mouton nécessite un lavage complet en plusieurs étapes : trempage, dégraissage, lavage, rinçage, traitements et séchage. Ensuite, elle est triée, cardée, pour retirer les impuretés, puis nappée, pour former un matelas. Ce matelas constitue le matériau de base, il ne possède pas encore les qualités et la tenue nécessaires pour être utilisé comme un isolant thermique.
Pour devenir un tel produit en rouleaux ou en panneaux, la laine peut subir deux types de traitements : l'aiguilletage ou la thermoliaison (ou thermoliage).
L'aiguilletage consiste à faire passer la laine entre deux rampes d'aiguilles qui vont enchevêtrer les fibres. L'isolant

Figure 88 : Les isolants en laine de mouton

obtenu est bien plus dense que le procédé par thermoliaison, mais il nécessite aussi plus de matière première, ce qui signifie également un prix plus élevé.

Dans la fabrication par thermoliaison, la laine est mélangée avec des fibres thermofusibles comme du polyester ou du polypropylène qui serviront à donner de la tenue au produit. Le mélange est chauffé dans un four à 130 °C environ. Les fibres fondent et agglomèrent la laine. Le matelas passe ensuite entre deux rouleaux pour acquérir l'épaisseur désirée, puis on le laisse refroidir pour figer sa structure.

Les divers traitements d'usage sont appliqués : sels de bore pour l'ignifugation et contre les moisissures. La laine y étant sensible, il convient également de la traiter contre les mites. Le produit généralement utilisé est du Mitin® FF, réputé non toxique.

Le suin constitue une défense naturelle contre le principal ennemi de la laine, les mites. Utiliser la laine non lavée pour conserver ce répulsif naturel ne semble

pourtant pas une solution pérenne. En effet, outre le fait que la laine garde une forte odeur, mais qui disparaît au bout de quelques temps, le suin, qui n'est plus produit par l'animal, perd peu à peu ses caractéristiques. La barrière naturelle n'est plus efficace, laissant le champ libre aux voraces mites. Le risque est non négligeable de perdre son isolation au bout de quelques années, littéralement dévorée. C'est pourquoi, pour ceux qui souhaitent une méthode d'isolation entièrement naturelle en se fournissant en toisons non traitées, il est conseillé de réaliser une isolation sous forme de panneaux démontables afin de pouvoir vérifier qu'il n'y a pas d'attaque en cours et d'y remédier sans trop de difficultés si tel est le cas.

La laine de mouton est légère avec une masse volumique comprise entre 12 et 35 kg/m^3. Si elle assure une bonne isolation l'hiver, sa faible inertie la rend inadaptée pour le confort d'été.
La laine de mouton ne présente aucun danger pour la santé. En cas de mise en œuvre par insufflation, il peut y avoir persistance de fibres fines. Le poseur devra s'équiper des protections nécessaires. Lorsque l'isolant est hermétiquement installé, il n'y a pas de risques pour les occupants. Vérifiez la nature du traitement antimites employé, qui peut présenter des risques potentiels pour la santé.

La laine est un produit biodégradable, recyclable, réutilisable ou incinérable. La récolte de la matière première et la fabrication du produit fini consomment peu d'énergie grise.
La laine de mouton présente un faible degré d'inflammabilité, elle tend à s'éteindre d'elle-même. Avec un traitement au sel de bore, elle est considérée comme difficilement inflammable. Sa stabilité est moyenne, il existe des possibilités de tassement en isolation verticale et elle ne convient pas pour les mises en œuvre en compression.
Le coefficient de conductivité thermique de la laine de mouton se situe entre 0,035 et 0,044 W/m.K, ce qui en fait un bon isolant thermique. Ses qualités acoustiques sont également reconnues.

Elle est très perméable à la vapeur d'eau et présente de grandes capacités hygroscopiques. Elle peut absorber jusqu'à 33 % de son poids en eau, ce qui, naturellement n'est pas souhaitable, puisque c'est aux dépends de ses capacités thermiques. Cet isolant n'est, par conséquent, pas recommandé dans les pièces à forte hygrométrie, contre les parois humides et sur les planchers en contact avec le sol. La pose d'un freine ou pare-vapeur est recommandée dans tous les cas pour éviter une dégradation des structures dues à la migration de la vapeur d'eau qui pourrait condenser dans l'épaisseur de la laine.
Le coût de la laine de mouton est encore assez élevé, dans la fourchette haute des isolants naturels. Ces produits sont principalement disponibles auprès de distributeurs de produits écologiques.
Elle est commercialisée sous forme de rouleaux, de feutre, ou en vrac. Le feutre est utilisé pour l'isolation acoustique sous plancher. La laine en rouleaux pour l'isolation dans les combles perdus sur plancher ou entre solives, pour la pose en rampant des toitures entre chevrons, pour la pose en parois verticales avec agrafage ou pour le remplissage de caissons.
La laine en vrac est utilisée pour l'isolation des combles et des vides de

construction. Elle doit être posée au moyen d'une souffleuse cardeuse afin de lui restituer son gonflant.

La plume de canard

La plume est reconnue depuis longtemps pour ses performances thermiques, en particulier dans le domaine de la literie et de l'habillement. Sa capacité d'isolation thermique est incontestable. L'isolant pour le bâtiment à base de plumes de canard est une innovation permettant de valoriser des déchets d'abattoirs. En effet, les plumes les plus longues ne sont pas utilisables pour la literie, la confection ou l'ameublement. Ces industries ne retiennent que les plumes les plus douces et le duvet. Pour fabriquer des isolants, la douceur et l'esthétique comptent peu. C'est ainsi qu'est apparue la première usine française d'isolants en plumes, en Vendée.

Les isolants y sont fabriqués à partir de plumes de canard (figure 89) dans la proportion de 70 %. Une part de 10 % de laine de mouton hygiénisée est ajoutée pour apporter une meilleure élasticité, ainsi que 20 % de fibres textiles thermofusibles (polyester).

Pour conserver leurs qualités aux plumes, la fabrication doit intervenir dans les 24 heures qui suivent l'abattage des canards. Les races concernées sont les canards de Barbarie, de Pékin et le Mulard. Les plumes sont déversées dans des bassins de prélavage sans détergent afin d'éliminer la plus grande partie des graisses et des impuretés. Elles sont ensuite lavées avec un savon biodégradable à 96 %, puis traitées. Il est à noter que l'usine possède sa propre station d'épuration pour le traitement des eaux de rejet.

Les plumes passent ensuite dans de grands séchoirs à air chaud qui permettent, d'une part, d'éliminer toute l'eau du produit et, d'autre part, de trier plumes et duvets.

Les plus grosses plumes sont mélangées aux fibres de polyester et à la laine de mouton, homogénéisées en nappes, puis thermoliées dans un four tunnel. L'isolant est enfin découpé, puis conditionné.

La plume a également reçu un traitement antifongique (sel d'ammonium quaternaire à 2 %) et antimite (perméthrine à 0,2 %) ainsi que la laine de mouton.

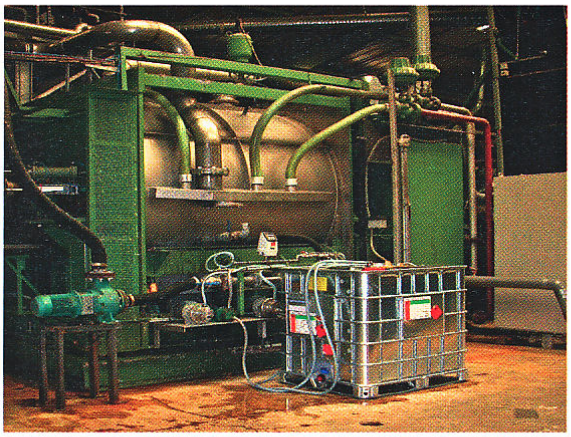
La masse volumique des isolants à base de plumes est comprise entre 26 et 34 kg/m^3. Malgré sa légèreté, la plume offre une bonne inertie, ce qui permet d'améliorer le confort thermique de la maison. Cette propriété lui vient de sa structure complexe et tubulaire.

Il n'y a pas de risques pour la santé, puisque, contrairement aux idées reçues, la plume n'est pas un allergène. Les causes d'allergie sont dues aux déjections des acariens, or la plume n'est pas un milieu qui leur est favorable et ne constitue pas non plus pour eux une nourriture. Dans les literies, les acariens se nourrissent essentiellement des squames de peau. Les conditions optimales de leur développement sont une température de 25 °C, et une humidité relative supérieure à 60 %. Ces conditions ne sont pas réunies dans un isolant placé derrière une paroi. La plume utilisée est parfaitement lavée et dépoussiérée afin d'éviter ces risques. Elle répond aux mêmes critères et réglementations que ceux exigés pour la literie (décret français « hygiène et sécurité des articles de literie »).

La laine est recouverte d'un voile en polyester microperforé sur une face pour le confort de pose. Elle n'irrite pas la

1 Prétrempage des plumes

4 Incorporation de laine de mouton et de fibres thermofusibles



2 Lavage et séchage

5 Chauffage pour lier les fibres

3 Triage des plumes et du duvet par soufflerie

6 Découpe de matelas d'isolant aux tailles standard

Figure 89 : La fabrication des isolants en plumes

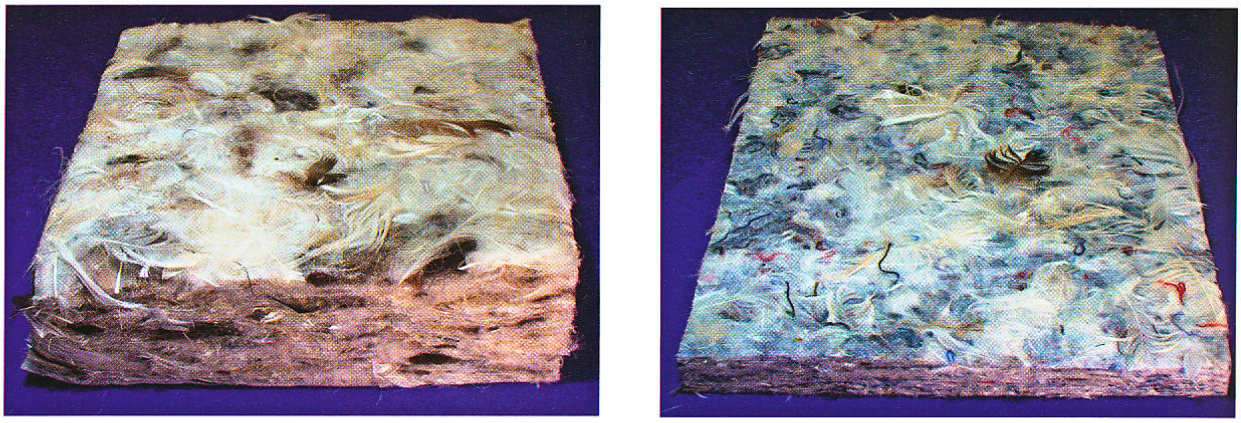

© DFTG

Figure 90 : Isolants en plumes pour murs et sols

peau et se pose sans protection particulière, puisqu'elle libère peu de poussières inhalables lorsqu'elle est manipulée.
C'est un produit recyclable qui peut être réintroduit dans la chaîne de production, incinéré ou mis en décharge.
La fabrication de cet isolant consomme peu d'énergie grise, si ce n'est pour son transport.

C'est un produit sensible au feu qui n'est pas destiné à rester apparent. La pose d'un parement est obligatoire. En pose dans les combles, on veillera à l'éloigner des sources de chaleur que constituent les conduits de cheminée ou les spots électriques. Un espace de 200 mm autour des conduits de cheminée doit être respecté. Il sera comblé avec un isolant incombustible.

L'isolant en plumes de canard est compressé dans son emballage. Une fois mis en place, il reprend son épaisseur nominale (plus 5 à 10 %), après une à deux semaines. La plume ne se tasse pas en pose horizontale, en revanche, en pose verticale un tassement peut être observé si l'isolant n'est pas correctement maintenu.

Le traitement est nécessaire contre les insectes et la moisissure, cependant les plumes ne sont pas attaquées par les rongeurs.
Le coefficient de conductivité thermique utile de cet isolant est de 0,040 à 0,042 W/m.K. Les valeurs mesurées se situent entre 0,033 et 0,036 W/m.K. Le produit bénéficie d'un Avis Technique. C'est également un bon isolant acoustique.

La plume de canard est très perméable à la vapeur d'eau. Elle a un fort pouvoir hygrométrique puisqu'elle peut absorber jusqu'à 70 % de son poids en eau. Même très mouillée, elle retrouve ses qualités après séchage.
Les isolants en plumes de canard (figure 90) sont des produits abordables, en vente chez les négociants en matériaux, sous forme de rouleaux et de panneaux.
Ils peuvent être utilisés pour l'isolation des combles non habitables en pose sur plancher, dalle ou entre solives, pour l'isolation des plafonds rapportés, pour les murs derrière une ossature métallique avec parement, pour les habitations à ossature bois et sous un parquet flottant.

Le cas des isolants réflecteurs multicouches

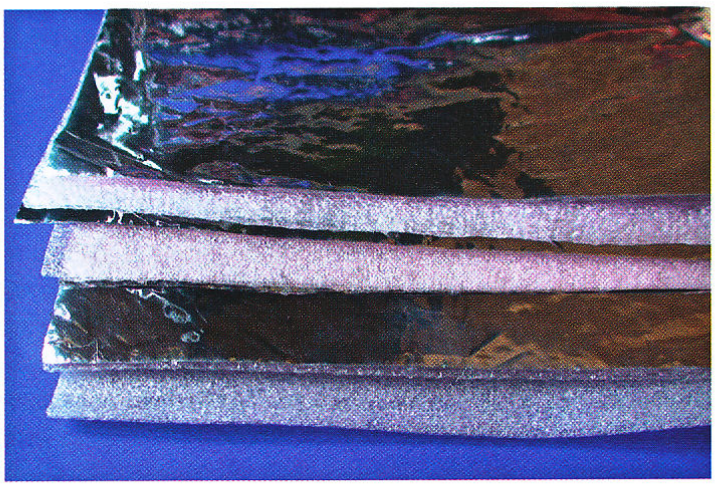
Une multitude d'appellations existent pour ce type d'isolant : produits minces réfléchissants opaques (PMR), films minces réfléchissants, isolants par thermoréflexion, isolants thermoréflectifs, isolants minces multicouches réfléchissants (IMMR) ou même « isolants nouvelle génération » (figure 91). Malgré leur présentation parfois futuriste dans leur enveloppe argentée, il faut bien veiller à ne pas les confondre avec d'autres procédés innovants, également de faible épaisseur et présentés au chapitre suivant, que sont les aérogels et les panneaux isolants sous vide (PIV). Les performances ne sont pas du tout les mêmes, loin s'en faut.

Un isolant mince réfléchissant est composé de multiples couches, tel un millefeuille. Les parements sont généralement composés d'aluminium ou d'un produit aluminisé, pour la brillance. Les couches intermédiaires sont de diverses natures. Elles peuvent consister en des épaisseurs de mousses souples ou de feutres d'origine animale ou végétale, pour l'aspect écologique. Il peut s'agir également de laines minérales, de polyéthylène à bulles, etc. Les différentes couches de matériaux sont collées, soudées ou cousues entre elles pour aboutir à des complexes de quelques millimètres à plusieurs centimètres d'épaisseur, généralement, commercialisés sous la forme de rouleaux.

Le principe de ce type d'isolant, comme leur nom l'indique, est la réflexion. Cela signifie qu'ils agissent principalement sur les flux thermiques par rayonnement. Étant donné leur faible épaisseur et la nature des couches intermédiaires, ils sont peu efficaces pour ralentir les flux thermiques par conduction et par convection. Or, ce sont les plus importants dans un bâtiment. De plus, leurs parements réfléchissants ne peuvent que se ternir ou s'empoussiérer avec le temps, ce qui diminuera leur potentiel de réflexion.

Leur légèreté leur confère une inertie thermique négligeable, ce qui les rend inutiles pour le confort d'été, notamment dans les combles.

Le terme d'isolant n'est pas adapté à ce type de produit. Ils devraient être considérés plutôt comme des compléments



© DFIG

Figure 91 :
Exemple d'isolant mince

d'isolation, toujours grâce à leur pouvoir réfléchissant, à utiliser avec d'autres isolants reconnus. Les Avis Techniques qui leur ont été attribués par le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) vont clairement dans ce sens.

On peut arriver aisément au même résultat, c'est-à-dire améliorer l'isolation par l'exploitation de la réflexion, en utilisant un isolant fibreux avec un pare-vapeur aluminisé, pour un coût bien moindre.
Les fabricants d'isolants minces réfléchissants mettent l'accent sur la spécificité et le caractère innovant de leurs produits qui impliqueraient des normes et des mesures spécifiques, différentes des isolants « épais » effectuées *in situ* et non en laboratoire. C'est pourquoi, ils préconisent une installation entre deux lames d'air inertes. En théorie, le résultat devrait aboutir à une bonne isolation, grâce aux lames d'air. Dans la pratique, cela est très difficile à obtenir. Prendre en compte les capacités isolantes des lames d'air est un facteur trop aléatoire. De plus, il n'est pas courant d'inclure le pouvoir isolant des lames d'air pour les ajouter aux qualités intrinsèques d'un produit et d'annoncer des chiffres parfois fantaisistes.

Pour clarifier les performances réelles ou supposées de ces isolants, l'état a confié à l'ADEME la mission de mener des études. En 2007, le CNRS, le CSTB et l'École des Mines de Paris ont été chargés d'évaluer les performances thermiques des isolants minces réfléchissants, avec le concours de fabricants.

Les mesures concernent un isolant mince de 2 cm pourvu d'une lame d'air inerte de 9 cm de chaque côté. En hiver, dans le meilleur des cas, l'étude prouve que la résistance thermique R d'une telle installation ne peut dépasser 2 $m^2.K/W$. La valeur R de référence pour un mur est de 2,6 $m^2.K/W$ (en zones H1 et H2). Les conclusions de ces études rejoignent les valeurs données dans les règles Th-U de la réglementation thermique 2005 dans laquelle les isolants minces avaient déjà été évalués. Il ressort, par exemple, qu'un rampant équipé d'un isolant mince de 2 cm avec deux lames d'air de 3 cm obtient un coefficient U de 1,1 $W/m^2.K$, ce qui est largement inférieur aux niveaux exigés par la réglementation thermique. Un mur en béton équipé du même isolant avec également deux lames d'air inertes de 3 cm obtient un U de 0,64 $W/m^2.K$.
De plus, les études précisent qu'une utilisation ou une mise en œuvre inadaptées peuvent conduire à des désordres tels que la mauvaise ventilation des charpentes ou des ossatures bois, avec les dégradations qui en résultent (moisissures).

Ces produits sont consommateurs d'énergie grise du fait des éléments qui les constituent comme l'aluminium ou les mousses de synthèse. Ils sont non renouvelables et non recyclables, puisque leur structure rend difficile la récupération de chaque couche de matières cousues ou collées entre elles.

En cas d'incendie, les feuilles d'aluminium ne sont pas inflammables, mais les mousses de polyéthylène émettent des émanations toxiques.
Ils sont totalement imperméables à la vapeur d'eau et ne permettent pas la régulation de l'hygrométrie intérieure.
Ces compléments d'isolation sont très disponibles, mais chers par rapport aux isolants classiques.

Les isolants nouvelle génération

Le réchauffement climatique relance la recherche dans le domaine des produits d'isolation. Le renforcement de l'isolation thermique des bâtiments demeure la meilleure solution pour réaliser des économies d'énergie et diminuer les émissions de CO_2. On comprend que l'inflation des exigences réglementaires va de paire avec l'augmentation de l'épaisseur des isolants à mettre en œuvre, soit jusqu'à 30 cm pour obtenir les performances d'une maison passive. Des problèmes de coût de mise en œuvre, de calcul du COS et de la SHON ou de perte de surface habitable apparaissent inévitablement. Dans l'habitat existant, la rénovation des logements avec de telles épaisseurs est tout simplement inenvisageable, en isolation par l'intérieur. Si l'on peut imaginer éventuellement la possibilité d'augmenter l'épaisseur d'un mur de 30 cm, par l'extérieur, cela est impossible au niveau des ouvertures.
Les solutions futures résident dans l'amélioration drastique de la conductivité thermique des isolants. Ainsi pour une épaisseur jugée raisonnable, moins de 10 cm, les nouveaux isolants ont des performances bien meilleures que celles que nous connaissons avec les isolants classiques.

Le principal composant qui apporte à un matériau son pouvoir isolant aux produits classiques est un gaz ou de l'air. Emprisonné dans des cellules ou des fibres, il empêche la chaleur de passer. En choisissant des gaz plus performants thermiquement on obtient des performances supérieures à celles de l'air. C'est le cas des polyuréthanes qui utilisent des HFC, des HFA (substituts du SFC), du pentane et même du CO_2. Cependant, les gains obtenus restent assez proches des niveaux des isolants classiques.
Pour obtenir des solutions nettement plus efficaces, la recherche se tourne vers d'autres procédés comme le vide. C'est en effet le meilleur moyen connu d'empêcher la chaleur de se propager. Le principe consiste à créer une enveloppe parfaitement étanche et résistante à la pression atmosphérique, dans laquelle on élimine l'air en l'aspirant. La faible quantité d'atomes résiduels dans l'enveloppe est comparable au vide. Les flux thermiques auront alors beaucoup plus de difficultés à traverser cette zone à faible densité de particules élémentaires. C'est le même principe que celui utilisé dans les bouteilles thermos, capables de conserver un liquide à température pendant des heures. La principale difficulté est de trouver des matériaux aptes à résister au conditionnement sous vide, qui soient parfaitement étanches et surtout durables, pour une utilisation adaptée au bâtiment. Des matériaux aux performances garanties pour quelques années ne sont pas adaptés, ils doivent pouvoir durer plusieurs dizaines d'années pour pouvoir être employés comme isolants. C'est pourquoi cette méthode nécessite des procédés de fabrication spéciaux encore chers et compliqués à industrialiser. L'offre commerciale, principalement allemande, est encore peu répandue. Par conséquent, les produits sont assez chers. Ils se présentent sous la forme de panneaux ou de vitrages.
Si le vide est le moyen le plus efficace de stopper la chaleur, d'autres voies intéressent la recherche pour améliorer sensiblement les performances des isolants. Pour atteindre cet objectif, ils explorent une autre piste. En effet, le principal ennemi de la rétention de la chaleur est le mouvement. Dès que l'air ou un gaz

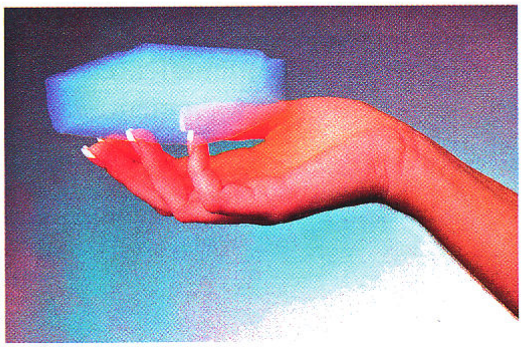
circule, il véhicule la chaleur. Le principe consiste donc à éviter que les atomes ne soient en mouvement, s'entrechoquent et dispersent la chaleur partout autour d'eux. Une cellule dans laquelle l'air, à l'échelle de ses particules élémentaires, serait totalement immobile ne transmettrait pratiquement pas la chaleur. Grâce à des structures suffisamment petites, l'air ou un gaz peut se trouver prisonnier et totalement incapable de bouger. La transmission de la chaleur par conduction est alors considérablement ralentie. C'est ce que permettent d'obtenir les matériaux nanostructurés dont les aérogels constituent un exemple parfait.

Les aérogels

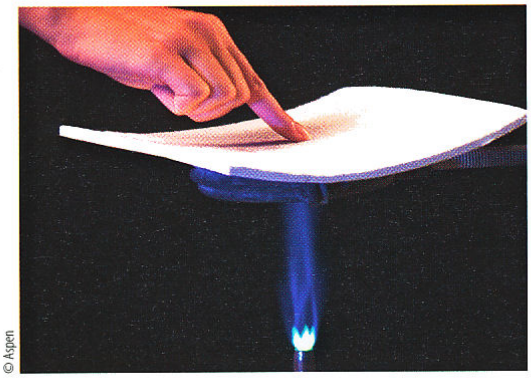
Les aérogels (figure 92) sont des matériaux nanoporeux aux caractéristiques futuristes qui ne sont pourtant pas nouveaux. C'est suite à un pari entre chercheurs qu'ils ont été découverts, par Steven Kistler, en 1931. Le défi consistait à remplacer le liquide d'un gel à l'intérieur d'un bocal par un gaz, sans que la structure ne s'effondre, c'est-à-dire sans que le gel ne se rétracte.
Pari gagné, le résultat fut un solide de densité si faible, environ 0,2 g/cm^3, que venait de naître la matière solide la plus légère jamais inventée. Une matière si légère qu'elle contient 99,8 % d'air et que l'on voit à travers. Elle ressemble à un nuage de poussière solidifié. Sa structure est nanoporeuse, c'est-à-dire que les petites bulles qui la composent ont un diamètre infiniment petit, de l'ordre de 2 à 5 nanomètres, soit 10^{-9} m ou encore un milliardième de mètre.

Les molécules sont capturées dans cette structure et ne peuvent plus bouger. En effet, dans l'air, les principaux gaz sont l'azote et l'oxygène. Les molécules de ces gaz sont séparées par des distances comprises entre 10 et 30 nanomètres. Dans un aérogel, l'espace qui les sépare est donc plus petit que leur libre parcours moyen.
Si les utilisations possibles n'étaient pas la priorité des inventeurs, la recherche s'est intéressée à cette matière exceptionnelle. Ainsi, un intérêt tout particulier lui a été accordé dans le domaine spatial. La NASA a intégré avec succès des aérogels dans les combinaisons portées par ses astronautes. Une épaisseur de 3 mm seulement d'aérogel suffit à protéger efficacement le corps humain, jusqu'à des températures extrêmes pouvant atteindre - 50 ° C et moins. On comprend l'intérêt décisif d'un tel produit pour l'isolation thermique dans le bâtiment.

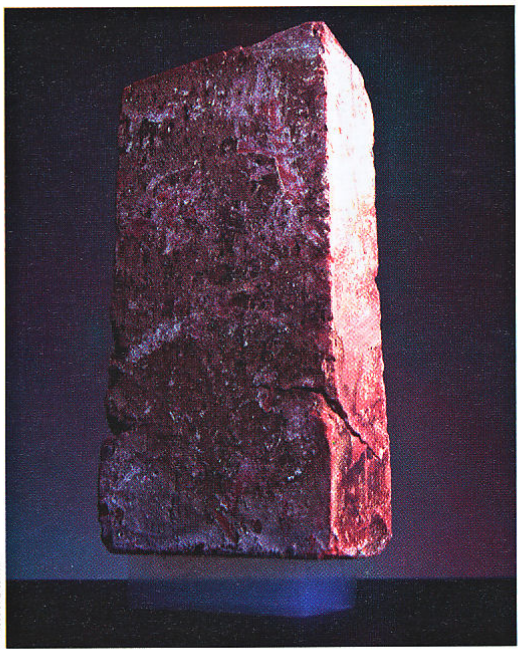
Malheureusement, les aérogels sont difficiles à produire, ce qui se traduit par un coût exorbitant du produit fini. Pour les fabriquer, on utilise un gel de silice en phase aqueuse, ou hydrogel, dans lequel on remplace l'eau par de l'éthanol, au moyen d'un catalyseur. On élimine ensuite le liquide par un processus de séchage appelé supercritique. En influant sur la pression et la température, on conduit le liquide jusqu'à son stade supercritique. Il aboutit à un état très particulier situé entre l'état liquide et gazeux. L'effet produit est la suppression de sa tension superficielle. Il devient alors possible de l'extraire sans détruire la structure en réseau qui, elle, reste à l'état solide. On obtient un produit singulier ayant la texture du polystyrène ou d'une meringue, dont les pores sont à l'échelle nanométrique et représentent une surface considérable. Si on les dépliait, on pourrait recouvrir une surface de 1 500 m^2 pour chaque gramme. La couleur bleutée translucide de l'aérogel


© Nasa JPL Caltech

L'aérogel est léger et translucide.


© Aspen

Le pouvoir isolant des aérogels est exceptionnel même en faible épaisseur.


© Nasa JPL Caltech

L'aérogel est capable de supporter jusqu'à 2 000 fois son poids.

Figure 92 : L'aérogel

lui vaut son surnom de *frozen smoke* (fumée gelée). Même s'il est friable, en apparence fragile et difficile à travailler, l'aérogel n'en est pas moins un champion de la résistance à la compression puisqu'il peut supporter sans problème jusqu'à plus de 2 000 fois son poids. Un morceau d'aérogel de quelques millimètres d'épaisseur pesant 2 g peut donc supporter un objet de plus de 2 kg.

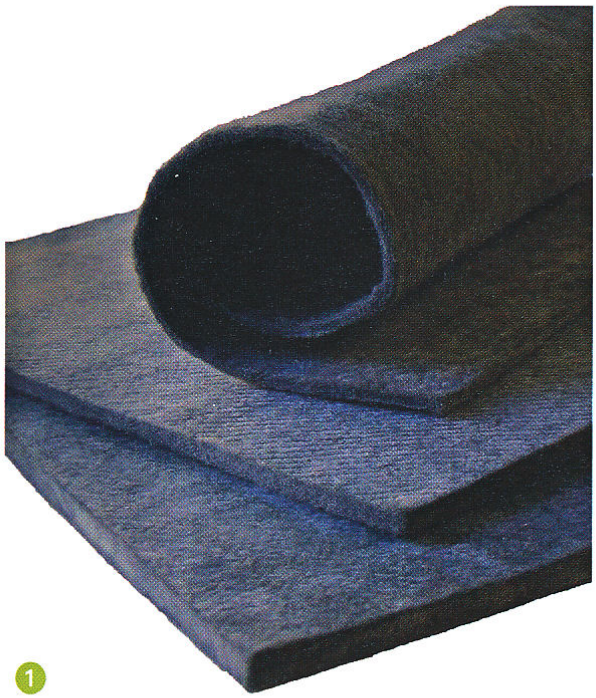
Il est évident qu'une telle matière ne peut que présenter des capacités d'isolation exceptionnelles. Les aérogels sont à la hauteur de leur réputation puisqu'ils stoppent presque complètement tous les modes de transmission de la chaleur. La flamme d'une lampe à souder dirigée sous une fine plaque d'aérogel sur laquelle serait posée une boîte d'allumettes ne suffirait pas à les enflammer.
Plusieurs éléments sont possibles pour la fabrication des aérogels comme la silice, le carbone, l'alumine, l'oxyde de chrome ou l'étain. Le plus performant thermiquement reste la silice, grâce à ces capacités de faible conduction de la chaleur.
Si les aérogels sont, à la base, hydrophiles, ils peuvent être traités pour devenir hydrophobes.

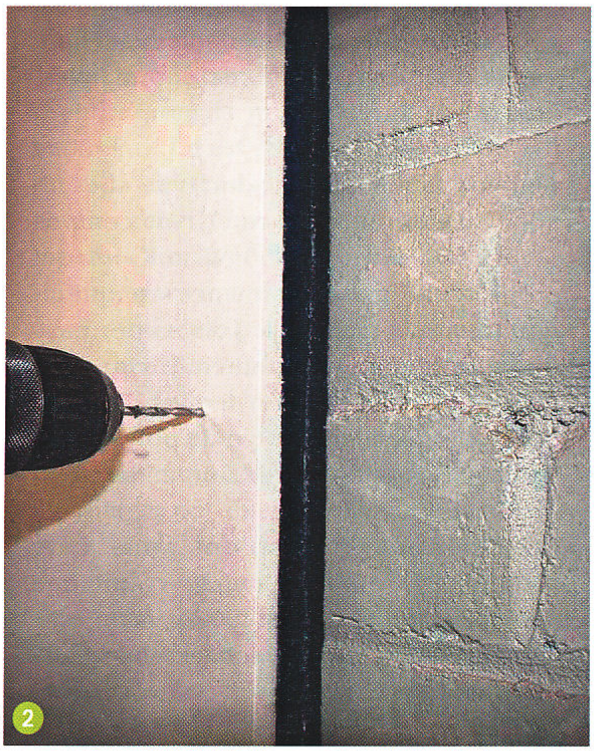
Les performances exceptionnelles des aérogels peuvent encore être améliorées par l'ajout de carbone à la silice. Il est également possible de vider partiellement l'air de la structure, comme cela est pratiqué pour les panneaux isolants sous vide, décrits au chapitre suivant.
Malgré leur coût de production élevé, les aérogels ont déjà fait leur entrée dans le domaine de la construction. Ils sont utilisés comme matériau de remplissage entre certaines parois vitrées en verre ou en polycarbonate. Les vitrages ainsi traités obtiennent des performances thermiques

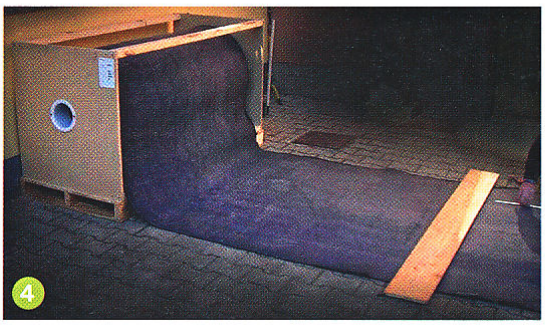
nettement améliorées (voir le chapitre consacré aux menuiseries). Malheureusement, la paroi reste encore translucide, ce qui interdit un usage en remplacement pur et simple des vitrages classiques. Cependant là encore, la recherche avance et cet inconvénient risque d'être surpassé à l'avenir. Des essais montrent que les aérogels fabriqués en apesanteur peuvent devenir totalement transparents, ce qui laisse augurer d'une foule d'applications. Le potentiel de recherche et développement est donc grand pour ce matériau très prometteur, notamment pour faciliter sa production à l'échelle industrielle et en abaisser le coût.

Des avancées en termes de production existent, ce qui a permis à un fabricant d'aérogel américain de proposer ses premiers produits d'isolation pour le bâtiment (figure 93).
Deux innovations ont permis de franchir le seuil du laboratoire pour parvenir au stade de la production industrielle. Le raccourcissement du temps de production de l'aérogel de silice a été obtenu par l'utilisation de CO_2 supercritique. Le produit final est plus facile à utiliser, notamment pour être intégré à des produits adaptés à la construction.
Le principe consiste à imprégner un matelas textile non tissé (PET) de gel de silice. L'élément liquide du gel est extrait sous pression. L'aérogel reste ainsi imprégné dans la fibre textile. La structure obtenue est ouverte, avec des pores de 2 à 50 nm.
Le produit textile est souple, il contient environ 95 % d'air, possède de très bonnes capacités d'isolation thermique et acoustique, est pratique à mettre en œuvre et peut être découpé. Il résiste également à la compression sans perdre ses performances thermiques.

Il existe un inconvénient ou une restriction pour la fixation. En effet, elle doit être effectuée mécaniquement, car le collage de ce type de produit n'est pas encore possible.
Le coefficient de transmission thermique λ annoncé, le plus petit constaté pour un solide, est compris entre 0,011 et 0,013 W/m.K, soit pour rappel, environ quatre fois moins qu'une laine minérale classique.
Ces produits destinés au bâtiment supportent des températures pouvant atteindre jusqu'à 200 °C (les aérogels purs peuvent supporter des températures comprises entre - 200 et + 635 °C selon leur composition). Ils se désagrègent et peuvent libérer des substances après une exposition prolongée à plus de 1 200 °C (monoxyde de carbone, anhydride carbonique). Ils sont classés au feu dans la catégorie Euroclasse E.
Le matériau de base, le gel de silice, est amorphe, jugé comme non dangereux et non toxique pour la santé ou pour l'environnement. Les aérogels sont classés comme matières non irritantes. Cependant, lors de la mise en œuvre, il y a lieu de s'équiper des protections d'usage telles que masque, gants et lunettes.
Le produit est hydrophobe par traitement, il absorbe moins de 1 % de son poids en eau, mais il est néanmoins perméable à la vapeur d'eau. Il présente aussi d'excellentes performances acoustiques.
La mise en œuvre peut se faire en isolation par l'extérieur ou par l'intérieur. L'isolation des sols est également possible.
Ces isolants sont commercialisés sous forme de rouleau de 1,44 m de large dans des épaisseurs comprises entre 3 et 9 mm. Une version en complexe isolant fixé sur une plaque de plâtre est également proposée.







© Aspen

1 Isolant textile à base d'aérogel 2 Complexe isolant avec matelas d'aérogel pour l'isolation intérieure 3 Isolation par l'extérieur avec isolant à base d'aérogel 4 Rouleau d'isolant aérogel facile à découper 5 Utilisation en sol de l'aérogel

Figure 93 : Les isolants à base d'aérogel

Les prix restent plus élevés et la disponibilité moindre que celle des isolants traditionnels. Avec l'augmentation des capacités de production et de la diffusion des isolants à base d'aérogel, les prix sont appelés à baisser.

Les panneaux isolants sous vide (PIV)

L'utilisation du vide comme isolant thermique est connue depuis des décennies, puisque les premières applications sont apparues dans les années 1950. Réservés à l'origine au renforcement des performances de certains appareils de réfrigération, les PIV font peu à peu leur entrée dans le bâtiment. Ils constituent une amélioration de la technique des aérogels, puisque leur cœur se compose d'un matériau à cellules nanométriques. Une enveloppe protectrice étanche à l'air et à l'eau entoure ce cœur, ce qui permet d'y faire le vide en abaissant la pression. Les matériaux nanoporeux utilisés ont une porosité élevée, supérieure à 90 %, comme les poudres de silice ou les aérogels.

L'enveloppe est soudée, ce qui aboutit à des panneaux que l'on pourrait comparer à des paquets géants de café sous vide. L'aspiration du gaz ou de l'air présent dans le cœur empêche les molécules résiduelles de circuler. Le vide créé n'est pas total, il représente environ une pression de 10 mb (millibars).
Pour les produits d'isolation destinés au bâtiment, l'âme est couramment réalisée à base de silice constituée de 80 % de dioxyde de silice, de 15 % de carbure de silicium et de 5 % d'autres composants. Selon les fabricants le cœur du panneau peut aussi être composé de xérogels granulaires, de XPS, de PU, de silices pyrogénées ou précipitées. L'enveloppe de protection étanche consiste en un film multicouches comprenant des couches de polymères (PE et PET) et de l'aluminium sous forme laminée.
Le film a une fonction primordiale puisqu'il doit assurer l'étanchéité à l'air et à l'humidité du panneau dans le temps. De sa qualité dépend la pérennité de l'isolant. Cependant, malgré toutes les précautions prises lors de la fabrication, un lent processus de dégradation s'opère, à cause de la pénétration des molécules de gaz atmosphériques. Heureusement, ce processus prend de nombreuses années. Les premiers PIV étaient conçus et garantis pour conserver des performances satisfaisantes d'isolation pendant 25 à 30 ans. L'évolution des matériaux et des procédés de fabrication permettent désormais d'atteindre une durée de vie, estimée par des tests, supérieure à 50 ans, ce qui devient réellement intéressant si l'on souhaite réaliser un investissement durable.

Le coefficient de conductivité thermique des panneaux actuels est compris entre 0,0042 et 0,0050 W/m.K, ce qui représente une performance exceptionnelle, quasiment dix fois supérieure à celle d'une laine minérale classique (figure 94). En d'autres termes, 1 cm de PIV est équivalent à 6 cm de polystyrène expansé ou à 9 cm de laine minérale.

Les panneaux d'isolant sous vide (figure 95) ont une masse volumique comprise entre 150 et 190 kg/m^3.
Malgré des chiffres réellement au-delà des isolants courants et qui pourraient laisser croire que l'isolant miracle existe déjà, les PIV ne sont pas dépourvus d'inconvénients. Le premier problème est dû à leur principe. Il va de soi que les panneaux ne doivent pas être percés sinon le vide est perdu et avec lui la

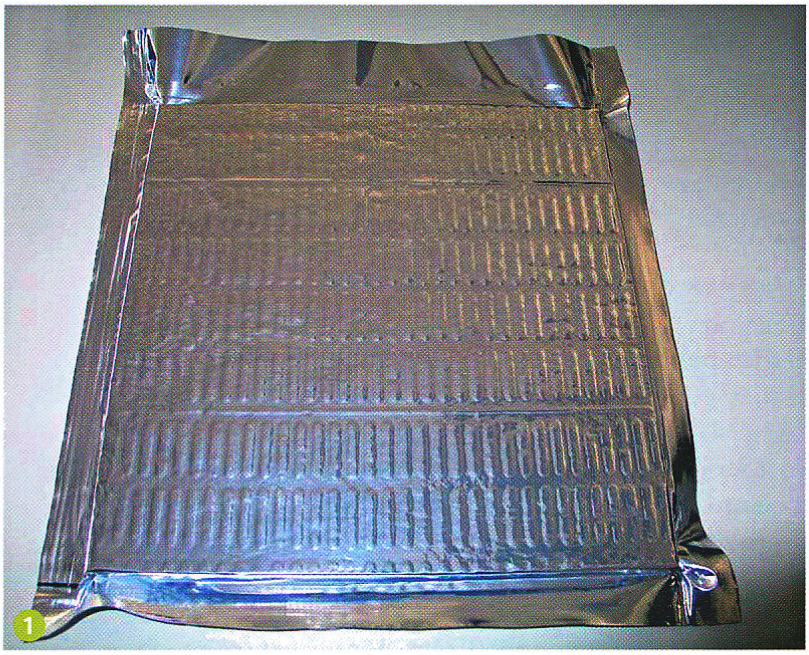
Performances thermiques des panneaux isolants sous vide (PIV)								
Épaisseur (mm)	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**40**	**60**	**80**
Résistance thermique (m^2.K/W)	2	3	4	5	6	8	12	16
U (W/m^2.K)	**0,46**	**0,32**	**0,24**	**0,20**	**0,16**	**0,12**	**0,08**	**0,06**
Masse (kg/m^2)	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	4,5	6,4	11,2
Pour une conductivité thermique de 0,005 W/m.K et une masse volumique de 160 kg/m^3. (Source VA-Q-tec)								

Figure 94 : Les performances des PIV

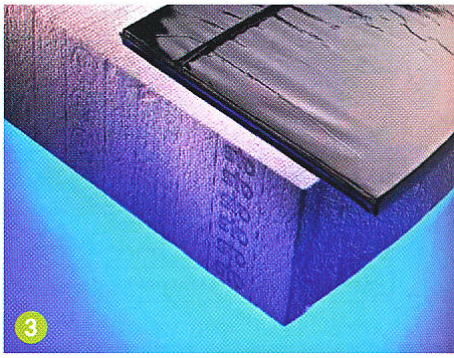
majeure partie des performances thermiques, soit environ la moitié en ce qui concerne la conductivité thermique et s'il n'y a pas d'humidification. Les performances, même diminuées de moitié seraient cependant encore très honorables. Un autre inconvénient est aussi, par conséquent, qu'on ne peut pas non plus les découper. Cela pose toute une série de difficultés et de précautions à prendre pour la mise en œuvre dans le bâtiment. Il n'est pas question de percer un trou de fixation à travers l'isolant, ni d'arracher l'enveloppe à cause d'un mauvais stockage. Des essais de conditionnement ont été faits pour pallier ces problèmes, par exemple en plaçant les panneaux en sandwich entre deux plaques de polystyrène expansé. Cela permet une manipulation plus aisée des panneaux sans les endommager et facilite le collage, par exemple sur une façade, avant la réalisation d'un enduit.

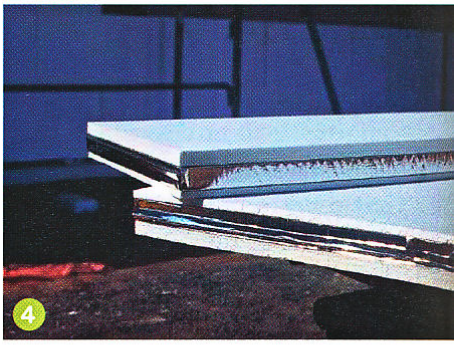
Une autre série de problèmes découle de la nature de ce type de panneaux. Lorsqu'on les pose bord à bord, il se crée inévitablement un maillage de ponts thermiques puisque la continuité de l'isolation n'est pas assurée d'un élément à l'autre. Même avec une pose parfaitement réalisée, avec des panneaux serrés, sans aucun jour et maintenus entre eux au moyen d'un adhésif en aluminium, il reste toujours un interstice, aussi faible soit-il, dû à l'enveloppe du produit. De plus cette enveloppe est très conductrice thermiquement puisqu'elle contient de l'aluminium. Il est donc nécessaire de tenir compte de cette restriction pour estimer les performances globales d'une isolation par PIV. C'est pourquoi le coefficient de conductivité thermique a été adapté en conséquence et estimé à 0,008 W/m.K, ce qui demeure malgré tout un très bon coefficient.

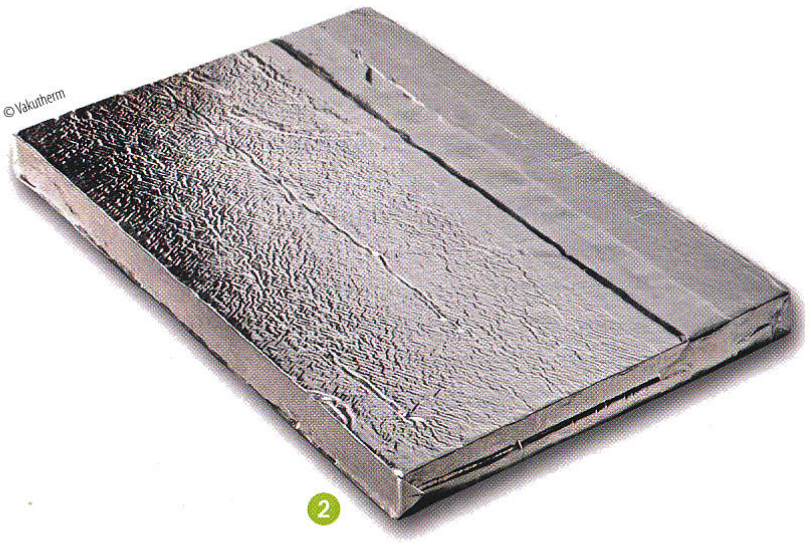
Pour améliorer la performance globale et diminuer les ponts thermiques, on peut utiliser des panneaux de grande taille. Une autre solution plus efficace consiste à mettre en œuvre les panneaux en deux couches croisées à joints décalés. Le surcoût engendré reste cependant un frein à cette méthode de pose très efficace contre les ponts thermiques.
Les panneaux non recoupables posent encore un autre problème. En effet, si l'on veut recouvrir une façade, un sol ou un mur, il faut d'abord en connaître les dimensions pour adapter exactement le nombre de panneaux nécessaires. Il faut procéder à un calepinage précis pour utiliser des panneaux standard sur la majorité de la surface à isoler et prévoir des panneaux sur mesure, donc



© Vip







© Vakutherm

1. Panneau isolant sous vide à bords bruts
2. Panneau PIV à bords droits
3. L'équivalence en épaisseur entre le polystyrène et les PIV
4. Panneaux PIV en sandwich avec protection en polystyrène
5. Prototype de monomur haute performance avec PIV intégré

Figure 95 : Les panneaux isolants sous vide

plus chers d'environ 25 %, pour terminer le recouvrement. Il y a peu de chances que la surface à isoler corresponde à un multiple exact de panneaux standard, à moins que cela ait été prévu avant, ce qui est peu probable.
Les PIV ne sont pas perméables à la vapeur d'eau, néanmoins un film pare-vapeur ou d'étanchéité, notamment pour l'isolation des sols, est recommandé à la mise en œuvre. Si le cœur du panneau peut être friable, le panneau quant à lui présente une très bonne résistance à la compression et peut être utilisé sous chape flottante. Cependant, un PIV est sensible à la flexion, c'est pourquoi une attention particulière doit être apportée pour la pose en sol. Celui-ci doit être parfaitement plan et égalisé, par exemple au moyen d'un film de protection en mousse de polyéthylène.

Des essais de pose *in situ* ont été réalisés en Allemagne et en Suisse. Cet isolant devrait rencontrer un succès grandissant, notamment puisqu'il représente une réelle avancée en termes de rapport épaisseur/performances, ce qui va dans le sens de la réglementation, de plus en plus stricte.
Les gammes commerciales évoluent et vont proposer des produits de plus en plus aboutis, pour pallier les inconvénients du procédé. Des tests sont à l'étude également pour créer des systèmes constructifs intégrant un panneau PIV. Par exemple, pris en sandwich entre deux briques à alvéoles verticales, le PIV peut être intégré à un système de blocs de construction à haute performance thermique et d'une épaisseur totale de 27 cm. Le coefficient U d'une paroi réalisée avec ce bloc serait de 0,10 W/m².K seulement, ce qui constitue une véritable prouesse pour une telle épaisseur.

Plusieurs expériences de mise en œuvre réelles ont été réalisées en isolation par l'extérieur (voir page 346).
Même s'ils ne sont, *a priori*, pas idéaux pour ce type d'application, les PIV peuvent aussi être utilisés pour l'isolation par l'intérieur. Outre la nécessité d'apporter un soin particulier au traitement des ponts thermiques, il convient de protéger les panneaux. En effet, il serait peu judicieux de les mettre en œuvre derrière une simple plaque de plâtre, ce qui rendrait tout percement impossible pour effectuer des fixations dans le logement. Pour protéger les PIV, tout en les installant en isolation par l'intérieur, il faut avoir recours au principe de la contre-cloison.

Le même problème se présente pour les applications en sol, par exemple sous chape flottante, avec ou sans chauffage au sol ou pour une terrasse. Le gain d'isolation est très important tout en ayant des épaisseurs minimales, ce qui est intéressant puisque, en rénovation, on peut rarement se permettre de surélever le sol de plus de quelques centimètres.
Les isolants sous vide sont aussi utilisés dans le bâtiment pour l'isolation des portes et des coffres de volets roulants. Outre les équipements comme les réfrigérateurs et les congélateurs, ils sont aussi de plus en plus employés dans les chauffe-eau et les capteurs solaires thermiques.

Il y a peu de données concernant les performances acoustiques des PIV. Néanmoins, il est reconnu que les aérogels constituant leur âme ont des propriétés acoustiques.
Naturellement, les PIV sont encore onéreux et peu disponibles. Leur fabrication est consommatrice d'énergie grise,

cependant leurs performances permettent un bilan énergétique très positif.
Le coût est principalement dû au fait que leur production n'est pas ou peu industrialisée et nécessite beaucoup de main-d'œuvre. La recherche exploite également de nouvelles pistes de matériaux possibles et peu coûteux pour confectionner le cœur des panneaux et l'enveloppe. L'offre est appelée à s'étoffer et les prix à baisser avec le développement de ce type d'isolant.

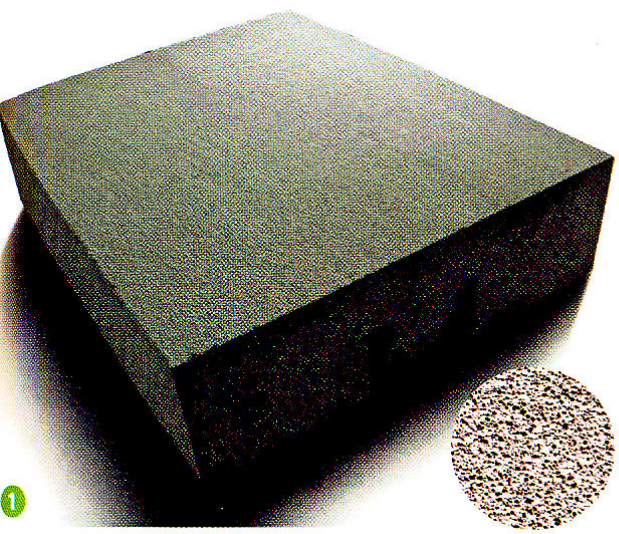
L'isolation répartie

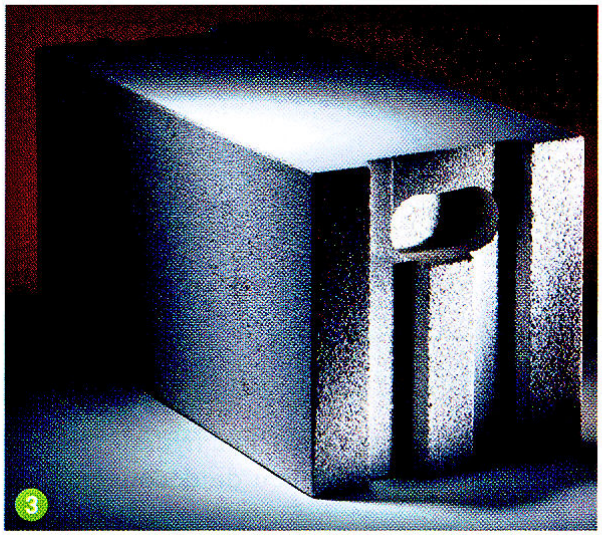
Dans une construction classique, on emploie plusieurs types de matériaux en fonction des caractéristiques recherchées. Pour assurer la solidité du bâtiment, il faut des éléments porteurs qui garantissent la stabilité des murs et la portance des planchers et du toit. Les matériaux employés sont généralement lourds et denses. C'est le cas du béton, des blocs de ciment ou des briques. Le problème est qu'ils laissent passer la chaleur sans lui opposer de résistance, c'est pourquoi il faut ajouter d'autres matériaux aux caractéristiques isolantes. C'est le principe de l'isolation rapportée. Pour simplifier les phases de construction, il serait intéressant d'employer des matériaux qui assurent simultanément les deux fonctions. C'est ce que permet l'isolation répartie. Elle consiste à construire un bâtiment avec un matériau qui est à la fois porteur et isolant. Les blocs de construction permettent de créer la structure du bâtiment sans qu'il soit nécessaire d'ajouter un isolant rapporté pour garantir ses performances thermiques. Naturellement, cette méthode de construction n'est valable que dans le cadre d'un projet neuf ou en cas d'agrandissement d'une construction existante. Pour se passer totalement d'isolant rapporté, l'épaisseur des blocs est importante. Plus ils sont larges, plus il sera facile de se passer d'isolation supplémentaire. C'est généralement le cas avec des blocs de 36,5 à 50 cm de largeur. Avec des blocs d'épaisseur moindre (de 25 à 30 cm), une isolation rapportée, réalisée au moyen d'isolants classiques en panneaux ou en rouleau, est nécessaire.

Les deux grandes familles de matériaux de construction pour l'isolation répartie sont les monomurs en terre cuite à alvéoles verticales et les blocs constructifs en béton cellulaire. Il existe d'autres matériaux, moins connus mais tout aussi intéressants, comme les monomurs en pierre ponce, en perlite expansée ou à base d'argile expansée. Les systèmes de monomurs et de blocs de béton cellulaire permettent de réduire les délais de construction puisque la structure porteuse et l'isolation sont réalisées en même temps. La pose des menuiseries et des réseaux est facilitée. Les ponts thermiques sont fortement réduits, voire supprimés. L'étanchéité à l'air (enduits intérieur et extérieur) est performante et le confort thermique de l'habitation, en été comme en hiver est amélioré grâce à une bonne inertie thermique et à la perméabilité à la vapeur d'eau.
Le surcoût de ce type de construction est compris entre 6 % et 10 % par rapport à des murs en briques avec une isolation en laine minérale et plaques de plâtre.

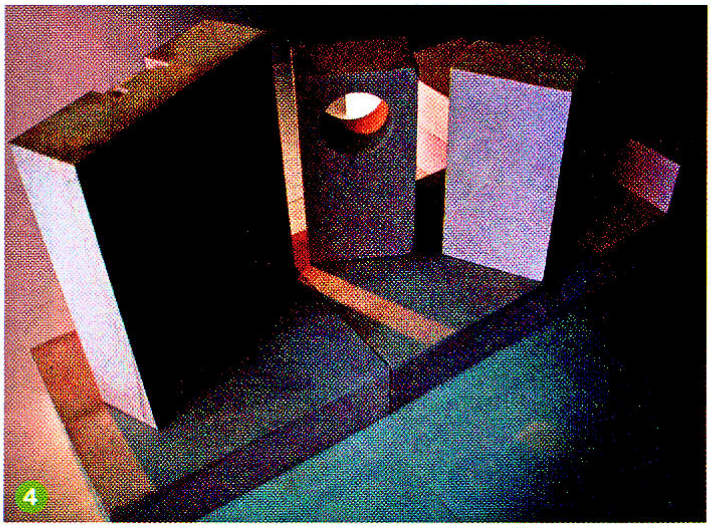
Le béton cellulaire

Le béton cellulaire (figure 96) est un matériau fabriqué à partir de ressources naturelles. Il est composé pour sa





© Porit



1. Bloc de béton cellulaire de 50 cm de largeur et détail structure
2. Exemple de mur en blocs de 50 cm
3. Bloc constructif standard de 30 cm de largeur
4. Exemples de blocs spécifiques

Figure 96 : Les blocs de béton cellulaire

majeure partie (64 %) de sable blanc, très pur, contenant 95 % de silice, de chaux (15 %), de ciment (20 %), de gypse (1 %) et d'un agent d'expansion comme la poudre d'aluminium (0,05 %). Les proportions peuvent varier selon la masse volumique recherchée, ainsi que la quantité d'eau utilisée.
En fait, la méthode de fabrication industrielle consiste à imiter un processus naturel qui aboutit à la création d'un minéral de même structure : la tobermorite (silicate de calcium hydraté) qui doit son nom à son lieu de découverte, non loin de la ville écossaise de Tobermory. Ce minéral est particulièrement adapté à un usage constructif. Il s'agit d'une roche alvéolaire, légère, aux propriétés isolantes et hygrorégulantes. Mais il est disponible en trop faible quantité dans la nature pour être exploité et commercialisé.

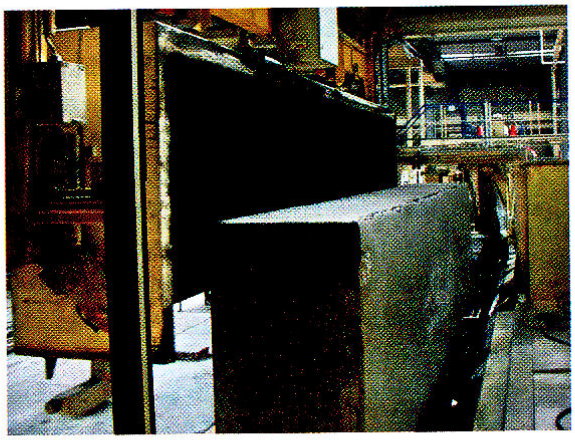
La fabrication du béton cellulaire (figure 97) repose sur une recette simple. Les matières premières sont malaxées dans d'immenses cuves jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène, qui est ensuite coulée dans de grands moules. L'agent d'expansion en poudre provoque la levée de la pâte en quelques heures. La formation de millions de bulles d'air crée une structure consistant en une multitude de cellules dans le produit. Pour un volume de 1 m^3 de matières premières, on obtient 5 m^3 de béton cellulaire. La pâte se solidifie pour former ce qui est appelé un « gâteau », car en effet la recette de fabrication ressemble vraiment à de la pâtisserie.
Lorsque le gâteau est suffisamment solide, il est démoulé, puis découpé au moyen de fils d'aciers selon les formes souhaitées pour former des éléments finis (blocs, panneaux, etc.).

Les éléments découpés subissent ensuite un traitement en autoclave sous une pression de 10 bars, à 180 °C pendant une dizaine d'heures. Cette opération est destinée à produire une réaction hygrométrique au cours de laquelle la chaux se lie au sable pour former la tobermorite. Cela apporte au béton cellulaire ses performances mécaniques définitives et stables.

Le béton cellulaire n'est donc pas un produit nouveau. La fabrication des silicates de calcium hydratés a été découverte à la fin du XIXe siècle. La production s'est industrialisée à partir de 1927, suite aux travaux du suédois J.A. Eriksson. En 1945, Joseph Hebel met au point le système de découpe par fils d'acier qui permet pour la première fois d'obtenir des éléments finis de grande précision.

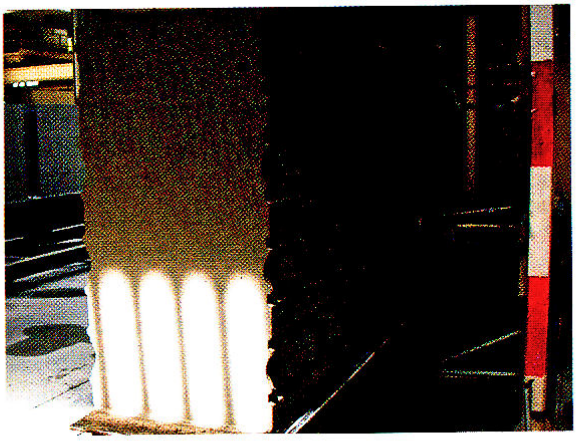
Ce matériau est très utilisé en Europe du Nord (de 15 à 20 % des matériaux de gros œuvre), mais peine à s'installer en France, où sa part de marché n'excède pas 1,5 %. Cela est certainement dû à des facteurs culturels et aux idées reçues, voire aux rumeurs, souvent infondées.
Par exemple, le béton cellulaire contient de l'aluminium, ce qui serait dangereux. La poudre d'aluminium ne sert qu'à l'expansion de la pâte et est utilisée à faible concentration. De plus, l'aluminium métal réagit en totalité au contact de la chaux largement excédentaire dans le béton. Il se transforme en hydroxyde d'aluminium, puis en aluminates tricalciques, c'est-à-dire des produits ne présentant aucun risque sur le plan sanitaire. Ces produits entrent dans la composition de nombreux matériaux de construction.
Autre idée reçue, le béton cellulaire ne serait pas solide mais très friable. Un mur en béton cellulaire de 20 cm d'épaisseur

1 Arrivées des moules sur la chaîne de coulage



4 Démoulage d'un bloc solidifié

2 Remplissage d'un moule de pâte



5 Façonnage et marquage d'éléments dans un bloc

3 Repos pour levage de la pâte

6 Étuvage à 180 °C pour obtenir la résistance mécanique

© DFIG

Figure 97 : La fabrication du béton cellulaire

peut supporter 12 tonnes par mètre linéaire. Par comparaison, un mur en parpaings creux de 20 cm d'épaisseur supporte 13,3 tonnes par mètre. Dès que l'on augmente l'épaisseur des blocs, les performances augmentent. Les blocs de 30 cm supportent 18 tonnes par mètre linéaire. Le béton cellulaire est parfaitement adapté à la construction individuelle comme élément porteur. Pour les immeubles collectifs, il peut assumer cette fonction jusqu'à 5 étages. Grâce à sa texture alvéolaire dense, il est plus difficile à percer avec un outil manuel ou une pioche qu'un mur de même épaisseur en parpaings creux ou en briques creuses. Il n'est pas possible d'effriter un mur en béton cellulaire avec un simple outil manuel ou une cuillère !

Le béton cellulaire serait très hydrophile et craindrait l'eau. De nombreux matériaux absorbent l'eau par capillarité lorsqu'ils sont en contact direct avec elle. Le béton cellulaire est composé à 80 % de cellules fermées remplies d'air et de 20 % de matière solide. L'absorption ne peut se faire que par la matière solide. En cas d'humidification, par exemple d'un mur non protégé de la pluie, le béton cellulaire peut absorber 5 % de son volume en eau. Il est moins hydrophile que le plâtre ou la terre cuite pleine. Il convient donc de se méfier des légendes.
La masse volumique du béton cellulaire est comprise entre 350 et 800 kg/m^3. Les blocs de construction ont une masse volumique de 500 kg/m^3 environ. Par conséquent, il apporte une bonne inertie thermique au bâtiment, ce qui est utile notamment pour le confort d'été. Un mur de 30 cm enduit procure un déphasage très appréciable de plus de 13 heures. Les blocs de 50 cm offrent une inertie thermique exceptionnelle. L'inertie offerte permet de retarder efficacement et d'amortir le flux de chaleur, entrant en été et sortant en hiver, ce qui assure un confort intérieur optimal en toutes saisons. Seule 0,25 % de l'énergie du flux de chaleur parvient en environ 23 heures à traverser la totalité du mur.
À part le ciment, les composants entrant dans sa fabrication sont naturels et abondants. Ils ne privent pas l'environnement de ressources rares. Le produit fini est non polluant et ne nécessite pas de traitement chimique supplémentaire. À l'état de déchet, il est inerte, autobloquant et recyclable à 100 %, comme remblai. En cas de démolition, l'absence d'isolant rapporté simplifie le tri. L'évacuation en déchetterie est facilitée par la légèreté du matériau et par le fait qu'il est accepté dans la catégorie des déchets inertes.
La production en autoclave ne rejette aucune substance liquide ou solide susceptible de polluer les eaux ou le sol. L'énergie grise est non négligeable, cependant on considère que les qualités isolantes du matériau permettent d'équilibrer largement le bilan énergétique après quelques années. Le béton cellulaire est un matériau neutre biologiquement, non radioactif, inoffensif pour la santé et dénué de COV (composés organiques volatils).

Avec le béton cellulaire, les nuisances sonores, esthétiques ou environnementales sont limitées. Côté bruit, pendant les travaux, la mise en œuvre nécessite un outillage très léger et des moyens de malaxage portables : l'utilisation de bétonnières bruyantes est rendue inutile.
La pollution visuelle et la propreté du chantier sont améliorées par rapport à d'autres matériaux. Le découpage des blocs est aisé et suffisamment précis

pour permettre la gestion efficace des chutes. Par conséquent, la quantité de déchets en fin de chantier est minime. Le façonnage et la découpe des blocs génèrent peu de poussières, qui ne sont pas dangereuses. Pour le sciage, il est recommandé d'utiliser une scie à ruban ou une scie thermique plutôt qu'une meuleuse. Pendant la mise en œuvre, il est possible de générer encore moins de déchets en recyclant les poussières de sciage : elles peuvent tout à fait être récupérées et mélangées à la colle pour moitié afin de constituer un mortier sec pour le rebouchage des saignées de l'installation électrique, par exemple.
Par ailleurs, un rapport d'analyse réalisé sur des poussières de béton cellulaire montre qu'elles ne présentent pas de danger pour l'homme (Bericht n° 1 7.07.1997/ta1.td - Extrait de la fiche de déclaration environnementale et sanitaire, FDES).

Le montage s'effectue à joints minces, ce qui nécessite une très faible quantité d'eau par rapport à un montage classique au mortier de ciment. De plus, le nettoyage du matériel en fin de journée est réduit.
L'implantation des usines près des carrières où sont exploitées les matières premières est une bonne solution pour limiter les coûts et la pollution dus au transport. C'est le cas pour la production française.

Le béton cellulaire est parfaitement incombustible et ininflammable. Il est classé dans la catégorie des matériaux durs. Soumise à des températures de plus de 1 200 °C, une cloison massive de 15 cm d'épaisseur reste debout sans déformation et demeure étanche aux fumées et aux gaz pendant 6 heures.

Il résiste parfaitement à la compression dans toutes les conditions. Des essais ont étés menés en Allemagne. Des blocs ont été laissés pendant 5 ans dans diverses ambiances (sèche, humide et sous l'eau). Après séchage, les résistances des échantillons n'avaient pas changé.
C'est un produit minéral qui n'est pas attaqué par les insectes ou les rongeurs.
Le béton cellulaire possède un coefficient de conductivité thermique compris entre 0,10 et 0,13 W/m.K. Les blocs constructifs ont un coefficient de conductivité thermique de 0,10 W/m.K. Cela est suffisant pour obtenir un coefficient U de paroi de 0,20 $W/m^2.K$ avec des blocs de 50 cm, avec enduit extérieur et plaque BA 13 à l'intérieur. Avec des blocs de 36,5 cm correctement montés à joints minces, on obtient un coefficient U = 0,26 $W/m^2.K$.
La structure aérée du matériau offre un bon rempart contre les agressions phoniques. Les bruits de l'intérieur comme de l'extérieur sont atténués par les parois verticales ou horizontales. Un mur fini en blocs de 30 cm d'épaisseur procure un indice de performance acoustique Rw de 49 décibels, soit un niveau supérieur à la réglementation acoustique qui exige 30 décibels.

Le béton cellulaire offre une bonne régulation hygrométrique de l'habitation en adoucissant l'air sec, en restituant la vapeur ou en absorbant l'humidité excessive, car il est perméable à la vapeur d'eau. Pour laisser les murs respirer, on ne doit pas appliquer un enduit extérieur étanche.
Le béton cellulaire est encore un matériau de construction plus cher que les parpaings classiques, cependant il faut aussi tenir compte dans le prix du fait qu'il n'est pas nécessaire d'isoler à partir

d'une certaine épaisseur et que le montage est très rapide.
Il est disponible chez la plupart des distributeurs de matériaux. Tous les éléments constructifs existent en version béton cellulaire, pour toutes les parties de la maison. Il est même possible de réaliser les planchers lourds ou sur hourdis, les sols et les supports de toiture dans ce matériau (figures 98 et 99). Dans les combles, le gain en inertie thermique est très appréciable, dans ce lieu qui en est souvent dépourvu et s'avère alors fort inconfortable lors des chaudes journées d'été. Ces éléments spécifiques sont armés de fers introduits lors de la fabrication. Mal connus en France, ils sont encore peu utilisés.

Les blocs constructifs pour les murs extérieurs existent en différents formats et épaisseurs. Les blocs de grand format

Isolation répartie - béton cellulaire - principe

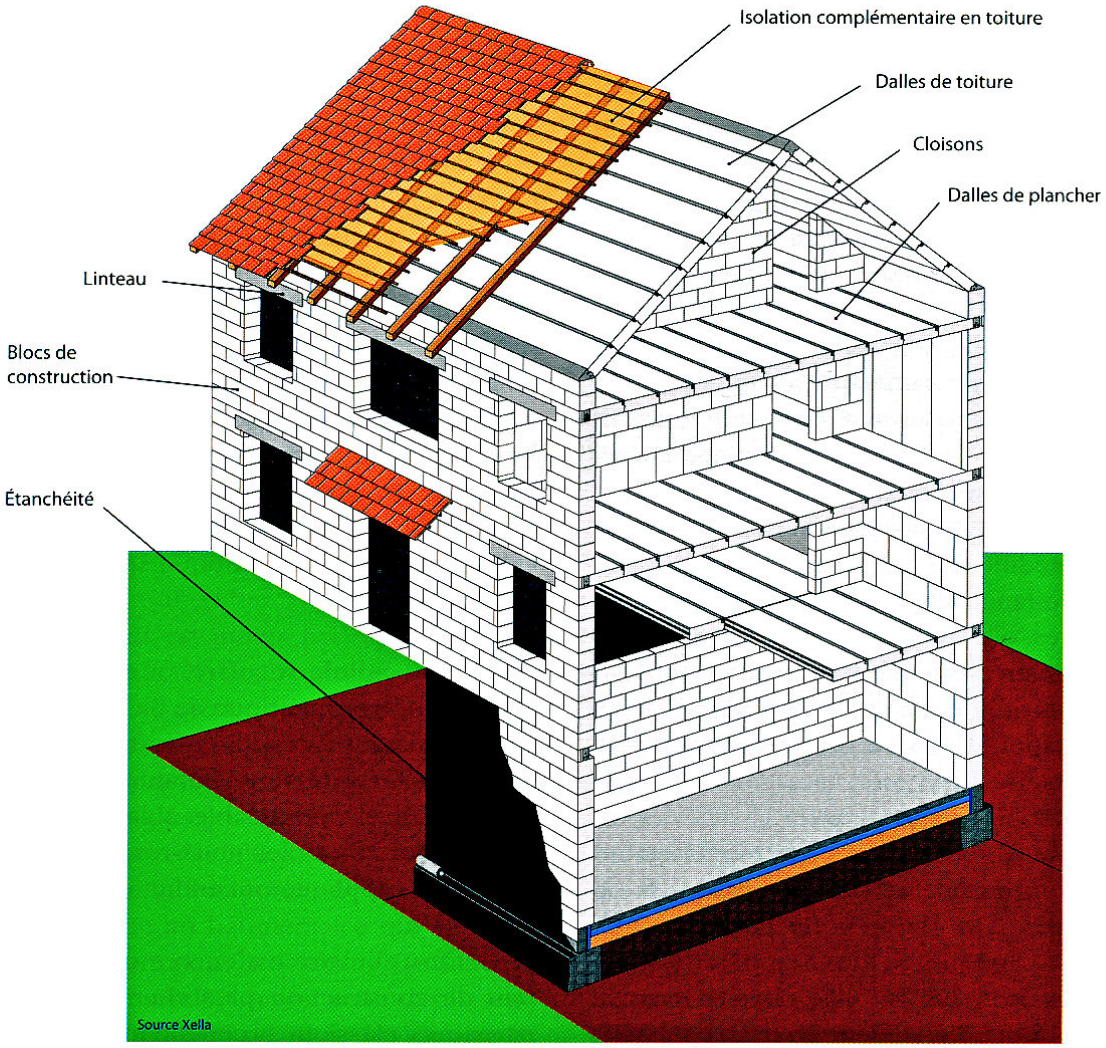


Figure 98 : Le principe d'une construction en béton cellulaire

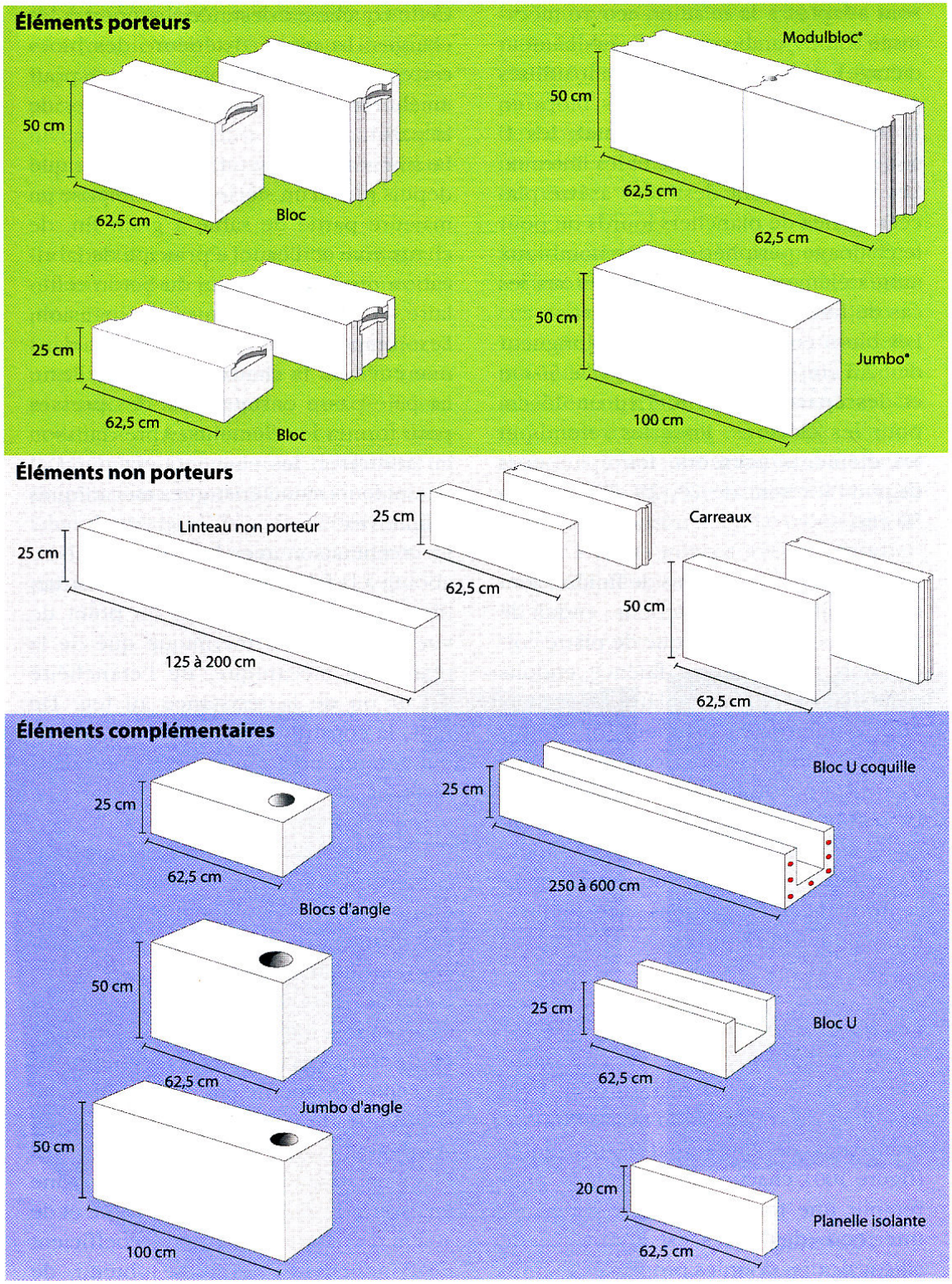


Figure 99 : Les éléments porteurs en béton cellulaire

sont adaptés à la mise en œuvre mécanisée (blocs Jumbo ou panneaux hauteur d'étage). Les blocs d'angle sont utilisés pour le chaînage vertical, les blocs en U pour le chaînage horizontal, les U coquille pour le chaînage et les linteaux. Les planelles sont destinées à être placées en nez de planchers lourds ou pour le chaînage périphérique. De nombreux autres éléments sont adaptés à tous les cas de figure.
Les blocs constructifs ont une longueur de 62,5 cm, une hauteur de 25 ou 50 cm et des épaisseurs de 5, 7,10 ou 15 cm pour les cloisons. Pour les refends et les éléments porteurs, les épaisseurs disponibles sont de 20, 25, 30, 36,5 ou 50 cm.

De nombreuses solutions de finition sont envisageables pour l'intérieur : enduit de plâtre ou de chaux, plaque de plâtre collée, bois, toile de verre, faïence, enduits pelliculaires à base de plâtre ou enduits pour peinture. En extérieur, on trouve nombre d'enduits monocouches destinés à un support de type Rt1.
Le béton cellulaire, présente des avantages et des inconvénients. Cependant, il constitue le meilleur compromis entre performances thermiques, acoustiques, écologiques et de prix.

Les blocs bimatières

Certains fabricants allemands proposent des blocs de construction monolithiques composés de deux matériaux collés (figure 100), chacun ayant été choisi pour remplir une fonction précise. La partie intérieure des blocs est composée de silicocalcaire, dont les propriétés thermiques ont été améliorées pour atteindre un coefficient lambda de 0,09 W/m.K. Cette couche est destinée à supporter les charges. La partie extérieure des blocs est composée de béton cellulaire pour améliorer les performances isolantes de la paroi.
Le silicocalcaire est un matériau fabriqué depuis plus d'un siècle. Il se compose en majeure partie de sable à grain fin, de chaux vive et d'eau. Le principe de fabrication ressemble à celui du béton cellulaire, si ce n'est l'absence d'expansion. Les composants mélangés passent dans une cuve où la chaux réagit avec l'eau. La pâte passe ensuite dans des presses pour former les éléments. Après cuisson en autoclave, les éléments ont durci et atteint leurs caractéristiques mécaniques définitives.
La combinaison avec le béton cellulaire aboutit à la fabrication de blocs constructifs très performants, tant du point de vue de l'isolation thermique que de la résistance mécanique, de l'étanchéité à l'air ou de la résistance au feu. De plus, la construction reste respirante, ce qui garantit une atmosphère saine dans l'habitat.

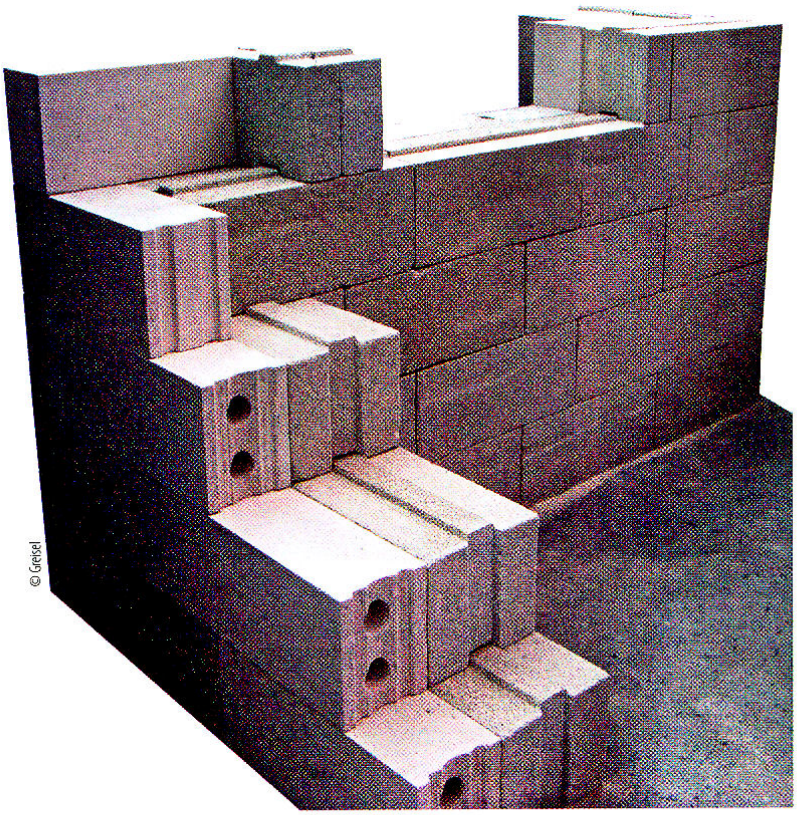
Il existe deux types de blocs : légers pour la construction de maisons individuelles et lourds pour les immeubles collectifs. Ces derniers présentent des performances thermiques légèrement moindres.
Un bloc léger de 36,5 cm de largeur est composé de 20 cm de silicocalcaire et de 16,5 cm de béton cellulaire. Il présente un coefficient de conductivité thermique de 0,066 W/m.K et offre un coefficient U mur de 0,174 W/m².K. Les blocs de 50 cm de largeur intègrent une épaisseur de 20 cm de silicocalcaire et de 30 cm de béton cellulaire. Le coefficient de conductivité thermique obtenu, de 0,061 W/m.K, est appréciable. Le coefficient U mur est de 0,119 W/m².K. Il est

totalement adapté aux maisons passives et a reçu le label « Passivhaus Institut ». Rappelons que le coefficient U requis par ce label est de 0,15 W/m².K, soit un niveau supérieur à la performance des blocs bimatières, et ce sans aucun isolant rapporté.

Ils constituent les produits monomurs offrant les performances thermiques les plus élevées du marché.
La production des blocs bimatières engendre sensiblement les mêmes niveaux d'énergie grise que le béton cellulaire. Les éléments entrant dans leur composition ne sont dangereux ni pour la santé, ni pour l'environnement. À l'état de déchets, ils sont inertes, stables et n'entraînent aucune émanation de produits ou gaz nocifs.

Les murs construits avec ces blocs sont perméables à la vapeur d'eau. L'étanchéité à l'air est facilitée par leur forme, puisqu'ils sont pourvus de rainures et de languettes sur toutes les faces pour un meilleur emboîtement lors de la mise en œuvre.

Les caractéristiques acoustiques sont également élevées, supérieures aux exigences de la réglementation acoustique.
La résistance au feu est exceptionnelle, puisqu'elle peut atteindre jusqu'à 180 min à haute température. La résistance mécanique est également excellente.
Il existe toute une gamme d'éléments constructifs. La pose est aisée, y compris pour l'autoconstructeur. Le montage s'effectue à joints minces avec un mortier-colle adapté.



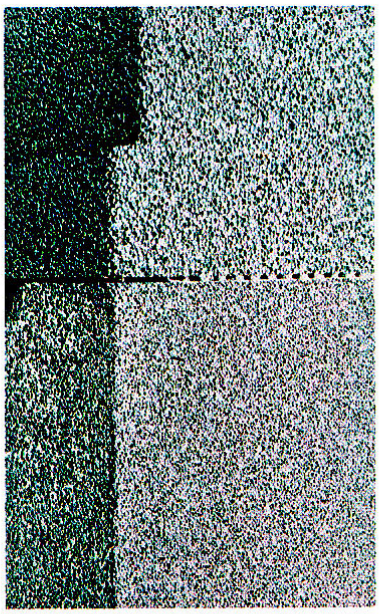


Figure 100 :
Les blocs bimatière

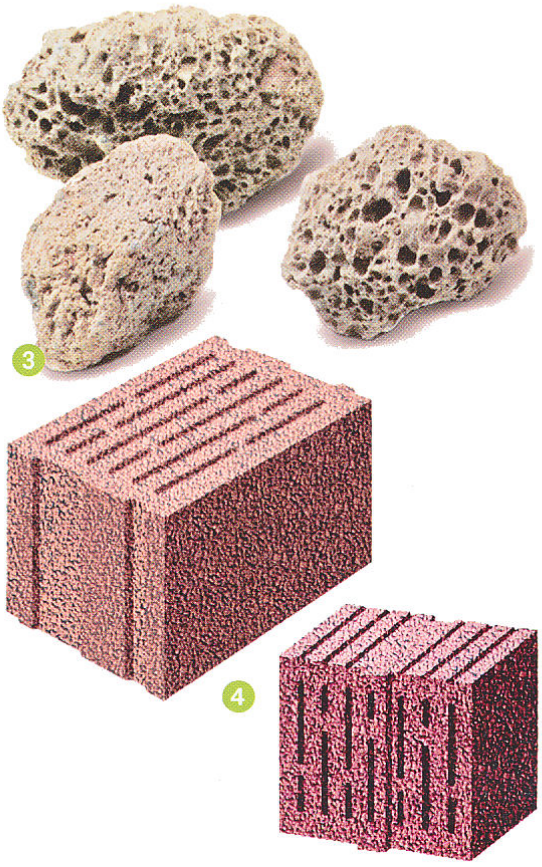
Les blocs monomurs en pierre ponce

La pierre ponce (figure 101) est une roche volcanique connue depuis des milliers d'années. Tout son attrait provient de sa grande porosité (85 % d'air) et de sa faible densité. Ses nombreux pores et cellules fermées lui confèrent un pouvoir isolant élevé.
Les Romains appréciaient déjà les propriétés isolantes et de régulation hygrométrique de la pierre ponce. En Allemagne, on mentionne pour la première fois son emploi, comme matériau de construction, dans la seconde moitié du XVIIe siècle. À l'origine, le liant utilisé était la terre glaise. Le tout mélangé à de l'eau permettait d'obtenir un mortier que l'on moulait dans des formes en bois. Une fois séchées, les briques obtenues constituaient des éléments de construction bien plus légers que la brique de terre cuite. On utilisait également la pierre ponce sous forme de blocs taillés à même la mine, lorsque les gisements le permettaient.

En 1845, toujours en Allemagne, on fabriquait des briques avec de la pierre ponce et de la chaux. L'invention du ciment Portland signa la fin de la domination de la chaux et le début de la production industrialisée.
De nos jours, pour fabriquer des blocs de construction en pierre ponce, on utilise un minerai naturel épuré mélangé avec de l'eau et du ciment. Pour un mètre cube de mélange, il faut 400 kg de pierre ponce de masse volumique sèche égale à 330 kg/m^3, 120 kg de ciment et 350 litres d'eau.
Les blocs sont moulés classiquement comme d'autres types de blocs de construction, puis stockés dans des chambres où ils séjournent quatre jours en état d'autoétuvage. Ils sont ensuite empilés à l'air libre pour un séchage naturel de six semaines au minimum.
La masse volumique des blocs de pierre ponce est d'environ 600 kg/m^3. Ils apportent une inertie élevée à la construction, d'autant plus qu'ils sont larges.
Ce type de produits ne présente pas de risques connus pour la santé. Ils n'émettent pas de COV ni de fibres. Ils sont entièrement recyclables.

L'énergie grise consacrée à la production, soit environ 160 kWh/m^3, est la plus basse de tous les monomurs, puisqu'il n'y a pas de cuisson. Cependant, la part de transport est importante, étant donné que les matériaux de base proviennent généralement de l'étranger (Allemagne, Grèce, Italie, Turquie, Islande...). Contrairement à une idée reçue, il s'agit d'un matériau très disponible.
Compte tenu de la nature incombustible des matériaux constitutifs des blocs et du mortier des joints, la construction en blocs de pierre ponce présente une tenue au feu excellente.
La résistance à la compression est élevée. Aucun insecte ou rongeur n'est susceptible de l'attaquer.

Les blocs isolants en pierre ponce les plus performants présentent un coefficient de conductivité thermique de 0,09 à 0,11 W/m.K. La pose à joints minces avec un mortier adapté limite les ponts thermiques. À titre d'exemple, avec des blocs de 36,5 cm de largeur, on obtient ainsi un coefficient U mur fini compris entre 0,23 et 0,25 W/m^2.K. Avec des blocs de 49 cm de largeur, le coefficient U est compris entre 0,17 et 0,19 W/m^2.K.
En Allemagne, on trouve des blocs encore plus performants, dont le coefficient



© Bisotherm

1. Mine de pierre ponce
2. Vue de détail d'un mur en pierre ponce
3. Granulats de pierre ponce
4. Blocs constructifs en pierre ponce
5. Maison individuelle en blocs de pierre ponce

Figure 101 : Les blocs de construction en pierre ponce

lambda est de 0,065 W/m.K seulement. En effet, leurs alvéoles sont remplies d'un matériau isolant. Cela permet d'atteindre un coefficient U de 0,17 W/m².K, avec des blocs de 36,5 cm d'épaisseur.
Choisissez de préférence des produits faisant l'objet d'un Avis Technique (ATec), dont les performances sont attestées.
La structure poreuse des blocs en pierre ponce apporte un bon affaiblissement acoustique, au-delà des exigences de la réglementation.

La pierre ponce présente une faible capillarité, elle absorbe au maximum 3 % de son poids en eau. Elle est insensible au gel et à l'humidité. La perméabilité à la vapeur d'eau est légèrement plus faible que celle des monomurs en terre cuite ou en béton cellulaire (coefficient μ de 15).

Des usines de production existent en France. Les fabricants proposent diverses tailles de blocs constructifs. Les largeurs courantes sont de 30, 36,5, 49 ou 50 cm. Différents blocs techniques sont également proposés pour les cas particuliers comme les feuillures, les piliers, les angles, les planelles d'about de dalle, les blocs en U pour le chaînage horizontal, les linteaux ou les coffres de volets roulants.
La pose s'effectue selon la technique de la maçonnerie dite roulée ou à joints minces.

Les enduits extérieurs doivent être exécutés en mortier bâtard traditionnel, conformément au DTU 26.1 ou bénéficier d'un Certificat CSTB certified attestant de l'aptitude à l'emploi sur support de type Rt1.
Les revêtements intérieurs peuvent être un enduit plâtre traditionnel exécuté conformément au DTU 25.1 ou des plaques de plâtre collées au mortier adhésif.

Les blocs monomurs en billes d'argile expansée

Il existe des blocs de construction fabriqués à partir de billes d'argile. Les billes sont expansées, cuites dans un four rotatif à une température de 1 200 °C, puis triées et calibrées. Elles sont mélangées à du ciment (CPA 52,5) pour former une pâte moulée sur des presses automatisées. Les éléments formés sont transférés dans des chambres de séchage, palettisés et stockés. Le délai de séchage nécessaire est de 28 jours au minimum. Un bloc d'argile expansée type se compose de granulés d'argile 0/4, de granulés 4/8, de granulés 8/16, de ciment et d'eau.

La masse volumique sèche est d'environ 800 kg/m³ pour les blocs creux et 1 100 kg/m³ pour les blocs pleins.
Ce type de monomur assure une inertie correcte selon les fabricants et le type de bloc, avec un déphasage entre 12 et 15 heures pour les meilleures performances.
La consommation d'énergie grise est importante du fait de la conception des billes d'argile, de la présence de ciment et du transport. La fabrication des blocs n'est pas en cause puisqu'ils sont moulés à froid.
Ce matériau est incombustible et ininflammable. Il ne dégage pas de fumées toxiques en cas d'incendie. Il a en outre une capacité coupe-feu et pare-flammes de 6 heures.
Il n'est pas attaqué par les insectes ou les rongeurs. Il conserve ses performances dans le temps.

Thermiquement, les performances sont moyennes comparées à d'autres systèmes d'isolation répartie. Un mur fini réalisé avec ce type de matériaux, en largeur de 30 cm, présente un coefficient U de 0,38 à 0,47 W/m².K. Par conséquent, le recours à un isolant rapporté reste nécessaire pour obtenir des performances thermiques optimales et conformes à la réglementation.
Les performances acoustiques sont correctes.

Ces blocs offrent un bon niveau de régulation hygrométrique. La structure alvéolaire du produit permet la respiration naturelle de la maison et évite tout risque de condensation et de moisissures.
Les blocs d'argile expansée résistent aux intempéries, au gel et à la pluie.
Divers produits sont proposés selon les fabricants. Généralement, comme pour tous les systèmes de monomurs, il existe des déclinaisons de blocs constructifs spéciaux pour les angles, linteaux, chaînages...
La pose se fait à joints minces avec un mortier adhésif spécifique. Pour les revêtements extérieurs et intérieurs, les recommandations sont les mêmes que celles préconisées pour les blocs de pierre ponce.

Les blocs monomurs en terre cuite

L'argile dans la construction est un matériau ancestral. En effet, elle est utilisée depuis environ 6 000 ans ! Les premières constructions en briques ont été découvertes dans l'actuel Irak et en Mésopotamie. Les briques étaient composées d'un mélange d'argile et de terre séchée au soleil, appelé adobe. Les premières traces de cuisson datent de 2 500 avant J.-C., dans la vallée de l'Indus. L'industrialisation a débuté dans les premières années du XIXe siècle. La terre cuite a été détrônée dans la construction par l'arrivée du ciment, du béton et de l'acier.
Les briques pleines ou mulots ne sont plus très utilisées. Elles sont lourdes, compliquées à mettre en œuvre et très peu performantes thermiquement. Néanmoins, elles sont encore appréciées pour leur fonction décorative, en parement de murs intérieurs ou extérieurs.

Les briques à alvéoles horizontales sont utilisées pour la construction en tant que matériau porteur ou de remplissage. Leurs performances thermiques pour l'isolation répartie d'un bâtiment sont cependant insuffisantes. Il est nécessaire de mettre en œuvre un isolant rapporté par l'intérieur ou par l'extérieur. Les briques de faible épaisseur sont utilisées pour la réalisation des cloisons (briques plâtrières).

Les briques à alvéoles verticales multiples ou monomurs en terre cuite sont beaucoup plus intéressantes, car elles affichent de bonnes performances thermiques et acoustiques.
Le mode de fabrication des éléments de terre cuite peut varier d'un fabricant à l'autre. Généralement, l'argile est collectée et entreposée à l'extérieur pendant environ un an pour assurer sa cohésion. Elle est alors prélevée, mélangée à de l'eau, du sable et de la sciure de bois jusqu'à l'obtention d'une consistance satisfaisante. Le mélange est ensuite broyé en granulés de petites dimensions, humidifié à la vapeur, puis passé à travers une filière ou matrice pour créer la forme des alvéoles intérieures (figure 102). Le résultat est une longue brique qui est ensuite découpée en éléments bruts.

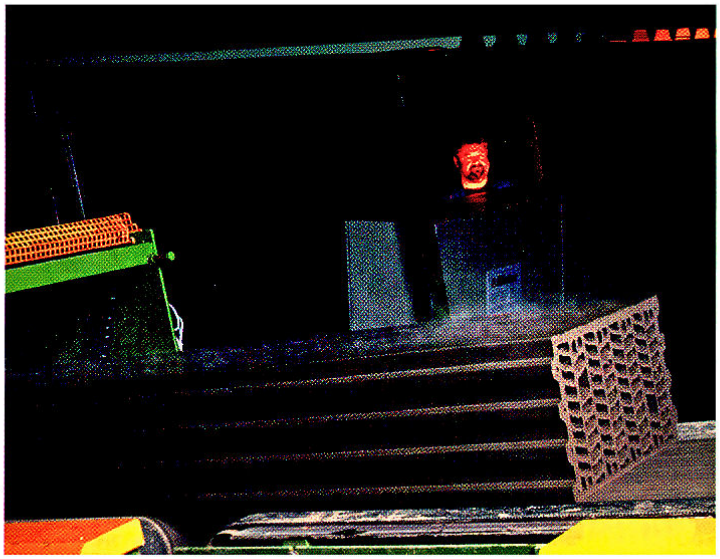

© Wienerberger

Figure 102 : La fabrication des monomurs en terre cuite

Les briques sont transférées au séchage, avec ventilation et contrôle de l'humidité. Cette phase peut nécessiter jusqu'à 36 heures pour les briques minces et jusqu'à 45 heures pour les plus épaisses. La teneur en eau passe de 20 à 2 %.
Les briques sont cuites dans un four chauffé au gaz ou au charbon, à une température supérieure à 900 °C, pendant 6 à 36 heures.
C'est à cette étape que la brique acquiert sa résistance mécanique. En brûlant, la sciure de bois crée de petites bulles d'air qui améliorent les propriétés thermiques du matériau.
Les briques sont ensuite rectifiées par meulage. Cette opération consiste à calibrer leur hauteur pour obtenir des faces parfaitement parallèles, avec une tolérance de ± 0,5 mm, et pour permettre la pose à joints minces.
La masse volumique des monomurs en terre cuite est comprise entre 650 et 850 kg/m³.
Grâce à leur forte inertie, il règne une atmosphère tempérée et agréable dans l'habitation tout au long de l'année.

La terre cuite est un matériau qui ne contient pas de matières organiques (facteur principal de développement des micro-organismes). Elle est totalement inerte, ne présente aucune toxicité pour l'homme et ne libère aucune fibre, ni particule, ni émanation de COV.
L'énergie grise nécessaire est la plus élevée de tous les systèmes de monomurs, soit de 600 à 770 kWh/m³.

Compte tenu de la nature incombustible des blocs de terre cuite et du mortier des joints, la réaction au feu est excellente. Le degré pare-flamme d'une paroi est de 6 heures et le degré coupe-feu de 2 heures.

Les monomurs terre cuite (figure 103) font preuve d'une grande résistance à l'écrasement : une brique de 30 cm à joint mince peut supporter près de 65 tonnes. Ils offrent également un bon comportement, à l'accrochage, face à un dégât des eaux ou en cas d'inondation. Ils sont insensibles au gel et aux rongeurs. Par leur nature minérale dénuée d'humidité,

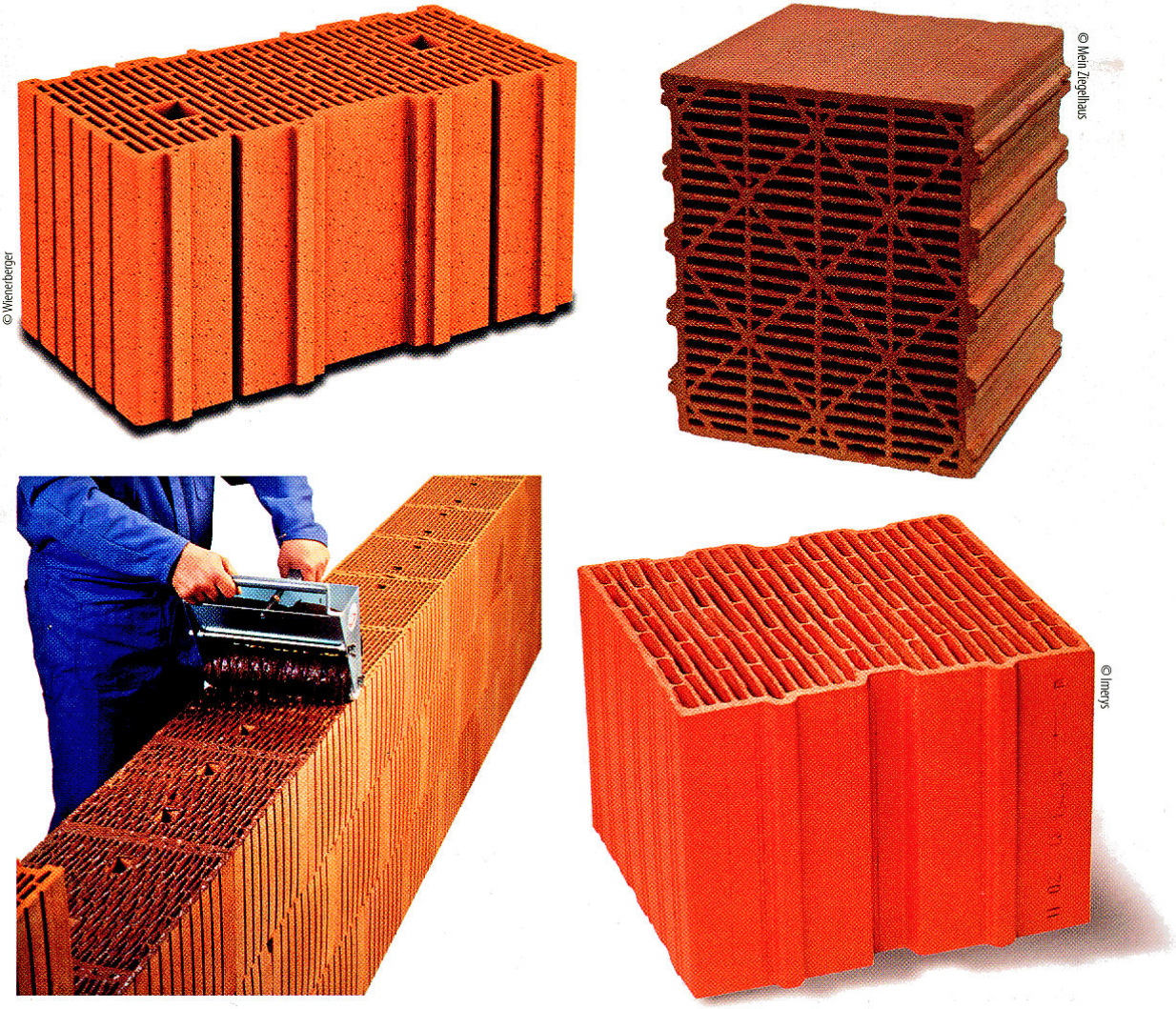
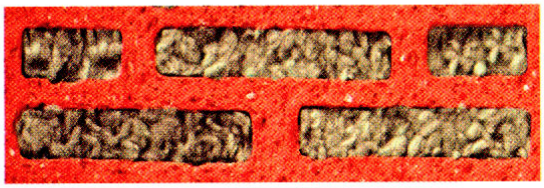


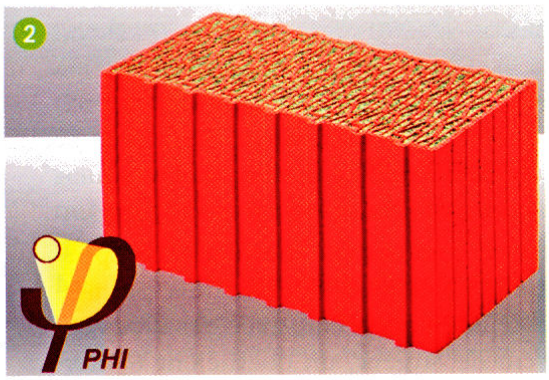
Figure 103 : Les monomurs en terre cuite

ces blocs évitent la prolifération d'hôtes indésirables (moisissures, acariens...).
Les performances thermiques des monomurs en terre cuite sont très variées. Elles sont légèrement diminuées par le remplissage des joints verticaux, comme cela est exigé dans certains cas, par les normes parasismiques. Elles sont très diminuées si l'on opte pour un montage traditionnel au mortier de ciment, puisqu'il y a alors création d'un maillage de ponts thermiques linéaires. Les blocs classiques affichent un coefficient de conductivité thermique compris entre 0,12 et 0,18 W/m.K. Cela permet d'obtenir en moyenne, avec des blocs de 30 cm de largeur, un coefficient U mur fini de 0,37 W/m².K. Avec des blocs de 36,5 cm de largeur, le coefficient U atteint 0,33 W/m².K. Avec des blocs de 50 cm, le coefficient U tombe à 0,27 W/m².K.

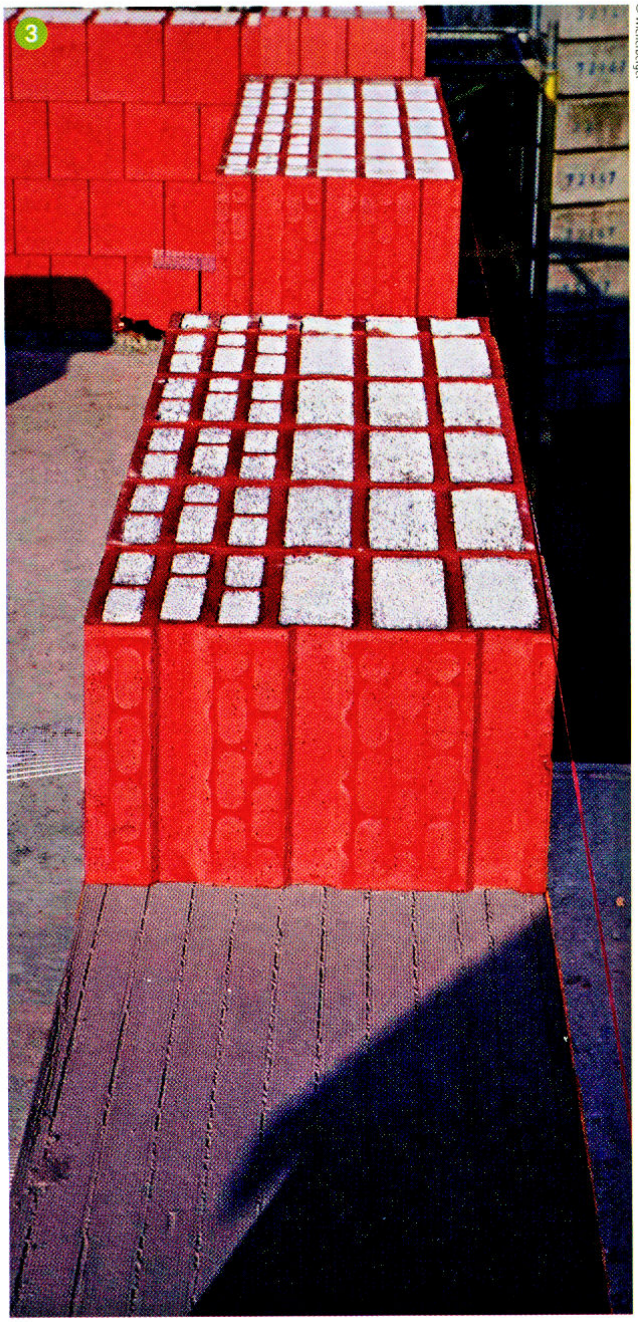
Outre Rhin, les innovations progressent à grands pas. Les fabricants ont eu l'idée de remplir les alvéoles avec un produit isolant, ce qui a pour effet d'amplifier



1



© Unipor



© Wienerberger

1 Monomurs avec isolation renforcée en laine de roche et coefficient lambda de 0,08 W/m.K.

2 Monomur avec laine de roche labellisé PassivHaus de 49 cm de largeur et coefficient lambda de 0,07 W/m.K.

3 Monomur avec alvéoles remplies de perlite expansée, isolation renforcée côté intérieur, coefficient lambda de 0,08 à 0,09 W/m.K.

Figure 104 : Les blocs en terre cuite à isolation renforcée

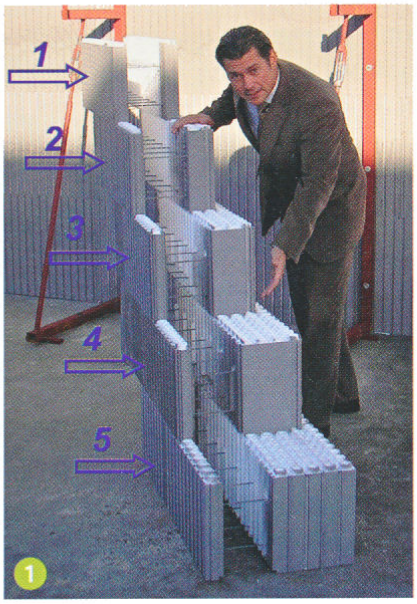
leurs performances (figure 104). Ainsi pour un monomur aux alvéoles remplies de perlite expansée, le coefficient de conductivité thermique lambda chute à 0,08 ou 0,09 W/m.K. Il en est de même si on les remplit avec de la laine de roche (0,07 ou 0,11 W/m.K).
Avec ce dernier type de bloc, dans une largeur de 30 cm, on obtient un coefficient U mur fini de 0,25 W/m².K. Avec une largeur de 36,5 cm, on obtient un coefficient U de 0,21 W/m².K. Pour une largeur de 42,5 cm, U atteint 0,18 W/m².K. Pour une largeur de 49 cm, on obtient un U de 0,14 W/m².K seulement.

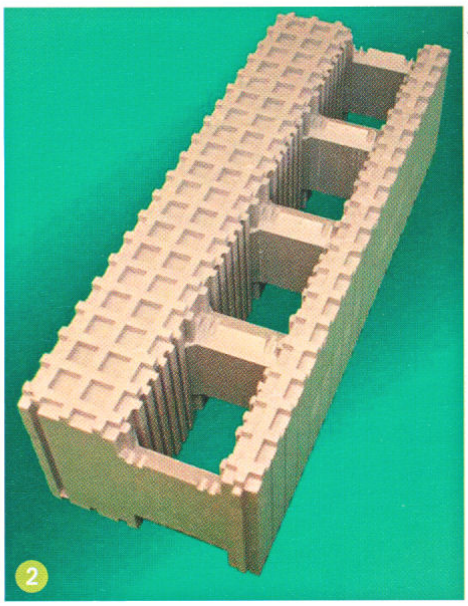
Les performances acoustiques sont correctes. Elles ont été améliorées dans les nouvelles générations de blocs et répondent parfaitement aux exigences de la NRA. Néanmoins, certains blocs ne sont pas recommandés pour la séparation entre logements.
La perméabilité à la vapeur d'eau des monomurs est bonne, avec une valeur de μ comprise entre 5 et 13. Elle assure une bonne régulation de l'humidité dans l'habitation.
Un revêtement extérieur est obligatoire pour les murs à simple paroi. Les finitions extérieures applicables sur cette maçonnerie sont des enduits traditionnels classiques pour les supports en terre cuite, des enduits non traditionnels ou des enduits d'imperméabilisation qui doivent être certifiés CSTB certified pour l'application sur supports de type Rt2.
À l'intérieur, on peut choisir des enduits traditionnels à base de liants hydrauliques, des enduits plâtre, des plaques de plâtre collées, ou des enduits non traditionnels bénéficiant d'un Avis Technique.
Comme tous les systèmes de maçonnerie à joints minces, la mise en œuvre est simple, rapide et nécessite beaucoup moins d'eau que pour des constructions traditionnelles au mortier.
Un grand nombre d'accessoires constructifs est disponible comme les éléments de linteaux, de chaînage, d'angles, de tableaux, de poteaux, des planelles...

Les blocs de coffrage isolants

Les fabricants proposent également des blocs préfabriqués à isolation intégrée mais qui ne sont pas des monomurs. C'est le cas, par exemple, des blocs de coffrage isolants en polystyrène (figure 105). Le principe est l'intégration de la structure porteuse entre deux isolants qui servent également de coffrage lors de la construction. L'isolation obtenue est, par conséquent, à la fois extérieure et intérieure.

Ce système a été inventé dans les années 1950. Les blocs de coffrage, en polystyrène permettent de réaliser les murs par empilement à sec. Les deux faces des blocs de coffrage sont solidarisées par des entretoises métalliques ou en polystyrène. Ces derniers sont réservés exclusivement à la construction de maisons individuelles, ceux à entretoises métalliques peuvent être utilisés pour de petits immeubles collectifs. Ils disposent de profilés à rainure et languette à leurs extrémités pour permettre l'emboîtement et le blocage des éléments. Comme les parois extérieures, les murs de refend sont également réalisables avec ces blocs de coffrage. Les fabricants proposent généralement des systèmes pour les planchers et les toitures compatibles avec leurs éléments de murs.
Les empilements de blocs ainsi réalisés sont maintenus par des étais métalliques





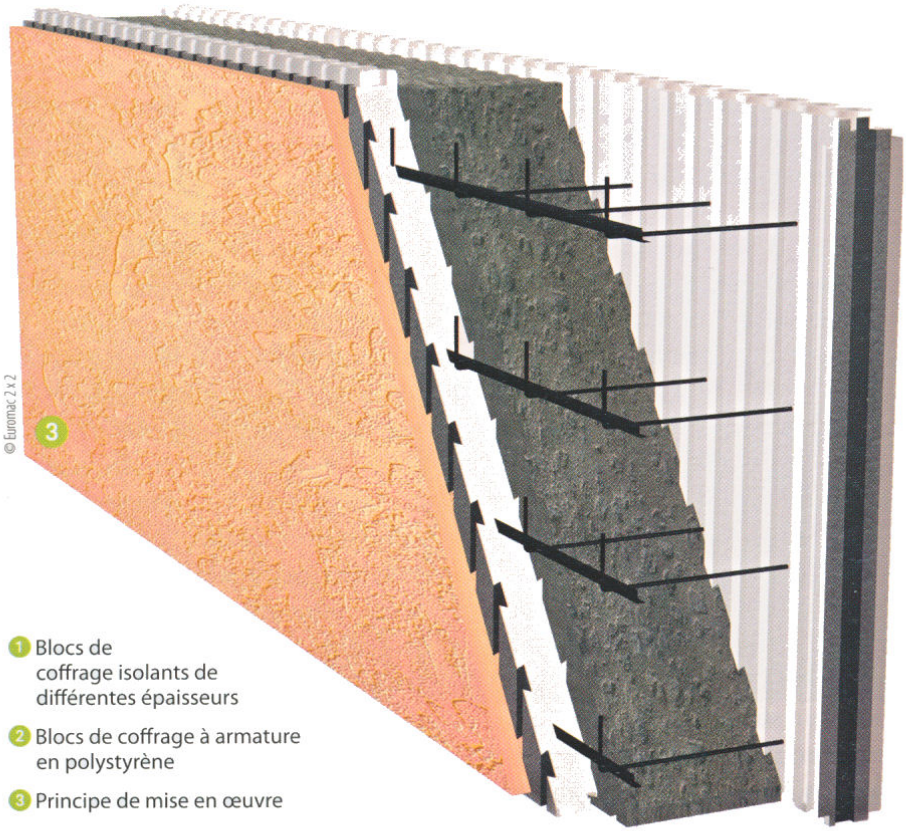


Figure 105 : Les blocs de coffrage isolants

ou stabilisateurs. Le remplissage s'effectue en plusieurs étapes avec un béton de granulats courants (350 kg/m³), qui ne doit pas être trop liquide au risque de provoquer l'éclatement des blocs.

L'épaisseur du mur en béton est comprise entre 16 et 21 cm. Dans les zones sismiques, on peut incorporer des fers à béton horizontaux ou verticaux.
Les parements extérieurs des blocs de coffrage sont revêtus d'une fine couche de mortier en usine pour leur protection. Selon les modèles et les fabricants, la face extérieure des blocs est pourvue de rainures verticales en queue d'aronde, ou d'une autre forme, destinées à favoriser l'accrochage d'un mortier épais à base de liants hydrauliques.
Côté intérieur, des rainurages permettent le passage et le maintien des canalisations. Les revêtements intérieurs peuvent être un enduit de plâtre projeté ou des plaques de plâtre collées. Si les blocs ne sont pas pourvus de rainures, il est possible de passer les canalisations des divers réseaux domestiques directement dans le béton, avant coulage.

Les blocs sont fabriqués en polystyrène expansé ignifugé d'une masse volumique de 25 à 30 kg/m³. Il est à noter que l'inertie thermique des murs extérieurs est annulée par la couche d'isolant intérieur. Pour contrebalancer, il convient d'installer des cloisons et des planchers les plus lourds possibles.

Le polystyrène doit être protégé à l'intérieur comme à l'extérieur par un revêtement incombustible. La résistance au feu est alors de 90 minutes. Néanmoins, la stabilité au feu de la construction est assurée pour deux à trois heures si les éléments disposent d'entretoises métalliques. Elle est inférieure dans le cas d'entretoises en polystyrène.
Le système est très peu perméable à la vapeur d'eau, cependant il élimine les risques de condensation superficielle en supprimant totalement les ponts thermiques. Pour maintenir un air sain dans l'habitat, il est impératif d'installer un système de ventilation mécanique performant, de préférence une VMC double flux.
Le système ne craignant pas l'humidité, il peut être utilisé pour les murs de sous-sol.
Les performances acoustiques permettent de respecter la réglementation, grâce à la densité du mur en béton. Néanmoins l'utilisation d'un tel procédé comme mur séparatif entre logements requiert une étude particulière.
Les performances thermiques dépendent de l'épaisseur de l'isolant des blocs. Côté intérieur, son épaisseur est de 50 mm environ. Côté extérieur, l'épaisseur peut atteindre jusqu'à 250 mm, voire plus. Le coefficient U possible est compris entre 0,09 et 0,36 W/m².K d'après les données des fabricants.
Une paroi voile béton de 14 cm d'épaisseur, avec 5 cm de polystyrène côté intérieur et 6 cm de polystyrène côté extérieur permet d'obtenir un mur fini dont le coefficient U est de 0,27 W/m².K. Avec 25 cm d'isolant, côté extérieur, le mur fini atteint un coefficient U de 0,11 W/m².K seulement, soit une performance supérieure aux exigences des recommandations PassivHaus.

Il existe toute une gamme de blocs pour répondre aux différents cas de figure que l'on peut rencontrer dans la structure d'un bâtiment : blocs de terminaison, blocs d'angles, blocs pour arrondis, linteaux, planelles de dalles...

Pour une mise en œuvre rapide, les blocs droits sont généralement de grande longueur, soit 1 m et plus.

L'isolation par remplissage d'ossature

Dans certains types de construction, l'isolant n'est ni rapporté, ni réparti, c'est-à-dire faisant partie de la structure. C'est le cas des bâtiments à ossature bois ou métallique. Un squelette assure la forme et la solidité de l'ouvrage. Le remplissage entre les éléments verticaux est réalisé avec divers matériaux traditionnels ou modernes, généralement isolants. Bien que n'étant pas porteur, l'isolant constitue les murs en grande partie. La solution écologique et naturelle des murs en paille est fondée sur ce principe, de même que les blocs de remplissage en mortier de chaux et de fibres naturelles. De nombreuses solutions respectueuses de l'environnement sont possibles avec cette méthode de construction, particulièrement adaptée aux ossatures bois.

La construction à ossature bois

Le bois est parfait comme matériau de structure. Pour réaliser une maison en bois (figure 106), plusieurs techniques sont possibles. La structure porteuse peut utiliser du bois en position horizontale (rondins ou madriers empilés) ou en position verticale (colombages, poteaux-poutre ou plateforme). Contrairement à une idée reçue, le bois est synonyme de pérennité, de solidité et de sécurité. Son comportement au feu est correct : il se consume lentement, ne dégage pas de fumées toxiques et conserve longuement ses propriétés de résistance mécanique pendant un incendie. Il présente de bonnes performances hygrométriques. Naturellement, comme revêtement extérieur il nécessite des précautions particulières et de l'entretien, comme pour n'importe quelle maison. Les maisons en bois résistent bien aux tremblements de terre et aux conditions extrêmes comme la haute altitude, le grand froid ou le bord de mer. Les principaux ennemis du bois sont l'humidité, les insectes et les champignons. C'est pourquoi on utilise des essences particulières dont certaines nécessitent des traitements préventifs.

La plateforme ou ossature bois

La plateforme ou ossature bois est la plus la plus répandue des techniques de construction en bois dans le monde, en particulier en Amérique du Nord, en Suède et au Japon. Elle est appréciée pour sa rapidité de mise en œuvre et son coût réduit. L'une de ses caractéristiques est que les montants de l'ossature déterminent la hauteur des étages. Les éléments en bois ont généralement de petites sections, ce qui réduit le coût global. Les montants, espacés de 40 à 60 cm, sont fixés sur des lisses basses et hautes par clouage ou vissage. Les niveaux sont indépendants les uns des autres.

Le premier niveau peut être élevé sur une dalle en béton avec fondations classiques (terre-plein ou vide sanitaire). Il peut aussi être réalisé sur un premier plancher de solives, sur vide sanitaire et fondations maçonnées. Le premier niveau sert de plateforme pour la réalisation du niveau supérieur. La lisse haute supporte les solives du plancher supérieur, qui lui-même accueillera l'ossature de l'étage. Ce type de construction permet d'élever jusqu'à quatre niveaux. Le dernier reçoit les fermettes de la charpente. Des

Les constructions à ossature bois

Construction à plateforme

Construction en poteau poutre

Figure 106 : Les constructions à ossature bois

traverses supplémentaires sont placées au niveau des ouvertures : précadres de menuiseries et linteaux. Pour assurer le contreventement, c'est-à-dire la rigidité des parois, des plaques de contreplaqué marine ou de triply sont clouées sur les montants et les lisses de l'ossature. Ces plaques de renfort de la structure sont appelées voile travaillant. Les pièces de bois sont généralement préfabriquées selon la technique du « précut ». Les montants et les traverses de bois sont prédécoupés aux dimensions standard, puis montés sur le chantier. Les panneaux peuvent aussi être réalisés directement en usine. Le montage s'effectue sur le chantier. Les panneaux peuvent composer l'intégralité de la façade ou seulement la structure. Ils peuvent aussi servir de structure avec le voile travaillant, l'isolation, les menuiseries et le parement extérieur.

La structure est habillée et garnie de divers éléments pour assurer l'étanchéité et l'isolation thermique des parois. Le bardage extérieur peut être en bois horizontal, fixé sur des liteaux, eux-mêmes fixés sur le voile travaillant en contreplaqué et les montants. Un film

pare-pluie perméable à la vapeur d'eau est intercalé entre le contreplaqué et les liteaux. L'espace entre les liteaux assure la circulation de l'air, ce qui prévient toute condensation et pénétration de l'humidité. L'isolant thermique trouvera sa place dans le vide entre les montants. Côté intérieur, la paroi est recouverte d'un film pare-vapeur continu, puis d'un parement de finition comme des plaques de plâtre cartonné ou un revêtement en bois.

Ce principe constructif présente de nombreux avantages, dont le prix qui en fait la solution la meilleure marché dans le domaine de la construction bois (figures 107 et 108). Cependant, il présente aussi des inconvénients comme la perte de l'inertie thermique offerte par le bois massif. C'est pourquoi il est essentiel de bien choisir l'isolant rapporté, notamment en fonction de son inertie. Choisissez les laines ou les fibres de bois, la cellulose, etc. La laine de verre est déconseillée dans ce cas à cause de sa faible inertie thermique, ce qui conduirait à un confort d'été médiocre.

Il est également nécessaire de prendre en compte les ponts thermiques ponctuels que créent les montants des ossatures bois. Il est conseillé de placer une couche d'isolant supplémentaire, côté intérieur ou extérieur de la paroi, ou les deux, pour limiter les ponts thermiques. Par exemple, vous pouvez poser des panneaux de fibres de bois en contre-ventement.

Naturellement, les constructions à ossature bois ne tolèrent que des planchers légers. Il convient par conséquent de tenir compte des faibles performances acoustiques de ce type de sol et de prendre les dispositions nécessaires. La figure 107 présente des solutions en ce sens, à base d'isolants en bois.

Les poteaux poutres

Une maison construite selon la technique des poteaux poutres consiste en une structure porteuse de poteaux verticaux, et de poutres horizontales, en portiques simples ou à étage, en bois massif ou en lamellé collé. L'ossature stable reçoit les solives des planchers d'étages ainsi que les pannes et les fermes de la toiture. La distance entre les poteaux de grande section peut atteindre plusieurs mètres, ce qui offre une grande liberté architecturale. Le remplissage entre les poteaux est assuré par des panneaux opaques, par exemple des madriers empilés, des mortiers ou des blocs de béton de chanvre, du pisé, de la paille... ou encore de larges baies vitrées. Cette technique de construction est très répandue au Japon et en Allemagne, pour les maisons individuelles. Elle reste néanmoins assez onéreuse du fait de l'utilisation de pièces de bois massif de fortes sections.

Le remplissage des ossatures en bois

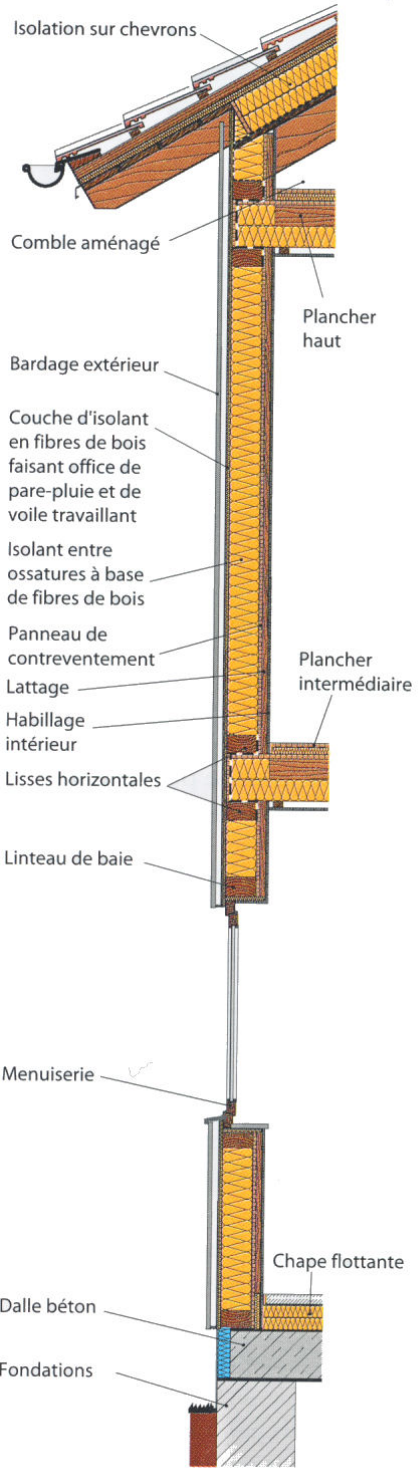
Lorsque l'ossature bois assure le rôle porteur de l'habitation, on peut utiliser des matériaux de remplissage isolants non porteurs comme les bétons allégés isolants, le chanvre, les fibres de bois, etc. Il existe aussi des solutions traditionnelles et écologiques comme le pisé ou la paille qui suscitent un intérêt croissant.

On peut également utiliser des blocs confectionnés avec diverses matières comme les mortiers allégés ou la terre crue. Le respect de l'environnement est assuré pendant la phase de construction, cependant les performances thermiques sont généralement moyennes, voire insuffisantes dans certains cas, ce qui

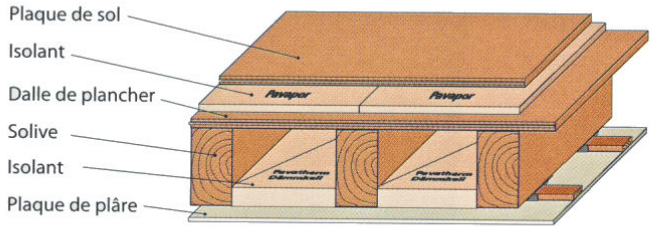
Principe constructif d'ossature bois

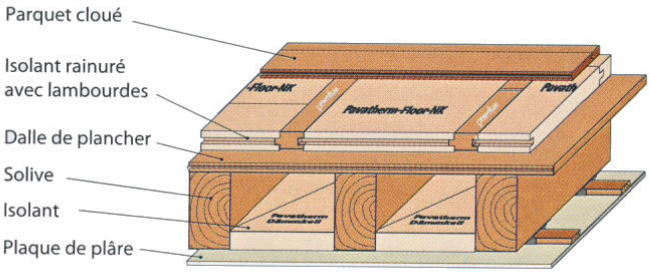
(D'après Pavatex)

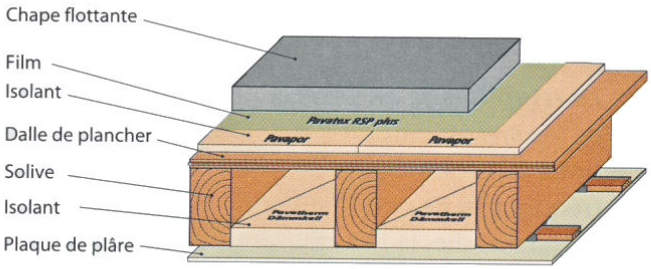
Vue d'une construction en coupe verticale



Exemples de planchers avec isolants en fibres de bois







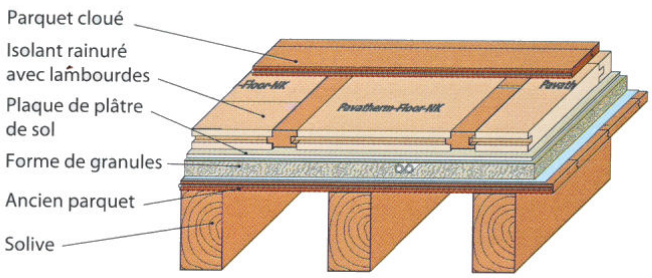


Figure 107 : Les principes constructifs des ossatures bois

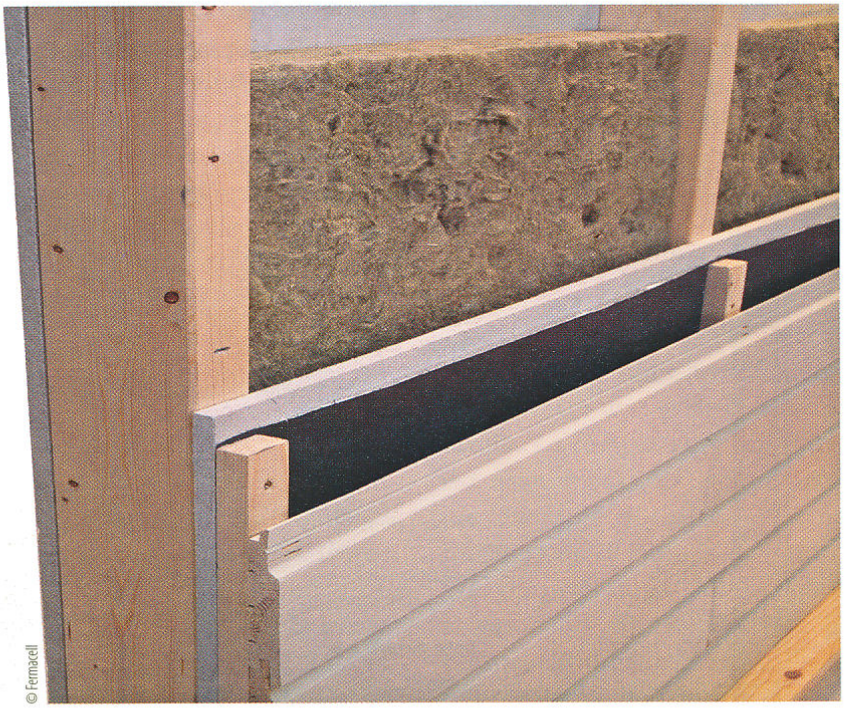


Figure 108 : Exemple de construction à ossature bois

implique alors le recours à une isolation rapportée, mais qui peut tout à fait être elle-même écologique et naturelle.

Le remplissage en torchis

Le torchis est employé dans les constructions à colombage, c'est pourquoi il est fréquent dans certaines régions comme la Normandie, la Picardie, la Champagne, l'Alsace et les Landes.

Il ne s'agit donc pas d'un matériau porteur (figure 109). On l'obtient en mélangeant de la terre (limon), des fibres végétales (paille) et de l'eau. Les pailles utilisées sont généralement issues de l'avoine, de l'orge ou du foin. On utilise désormais la paille de blé, plus disponible, mais aussi plus cassante.

Plus le pourcentage de terre est élevé, plus on augmente l'inertie thermique donc la capacité du mur à stocker de la chaleur. *A contrario*, plus le pourcentage de fibres est élevé, plus le matériau est isolant.

La proportion classique est un volume d'argile pour un volume de fibres aérées. Plus le mélange est humide, plus il a tendance à se rétracter et à fissurer.

La mise en œuvre s'effectue sur un clayonnage ou un lattage de bois. Le lattage se compose de branches de bois tendre refendues et clouées horizontalement entre les ossatures de la structure. Elles peuvent être posées côté extérieur ou des deux côtés. Elles sont espacées de 10 à 20 cm. Le clayonnage consiste en un tressage de fines tiges de noisetier ou de saule, réalisé verticalement entre les ossatures.

L'application du torchis s'effectue sur un support préalablement humidifié. Les mises en œuvre peuvent différer selon le lattage utilisé.

Généralement, on procède d'abord de l'extérieur, de bas en haut, en projetant avec force le torchis sur le lattis pour qu'il s'incruste entre les branches de saule. Après une à deux journées de séchage, on applique la couche intérieure, puis la couche extérieure. Il est nécessaire, avant le séchage complet, de strier les parois destinées à recevoir un enduit afin d'assurer un meilleur accrochage par la suite. Il peut s'agir également d'un enduit de terre. Il n'est pas rare que des fissures apparaissent lors du séchage, ce qui est normal. Si elles restent peu importantes,

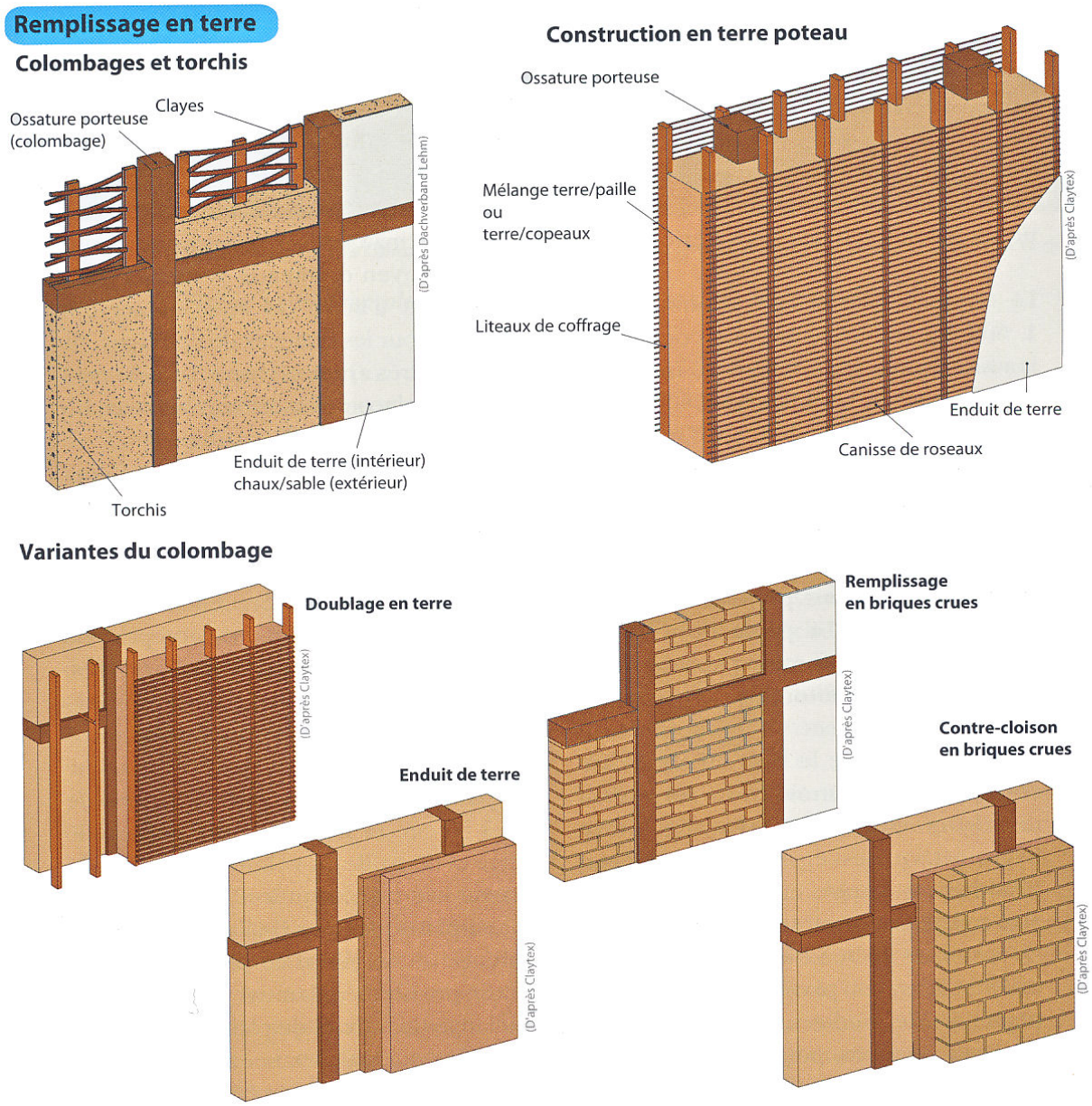


Figure 109 : Le remplissage en terre

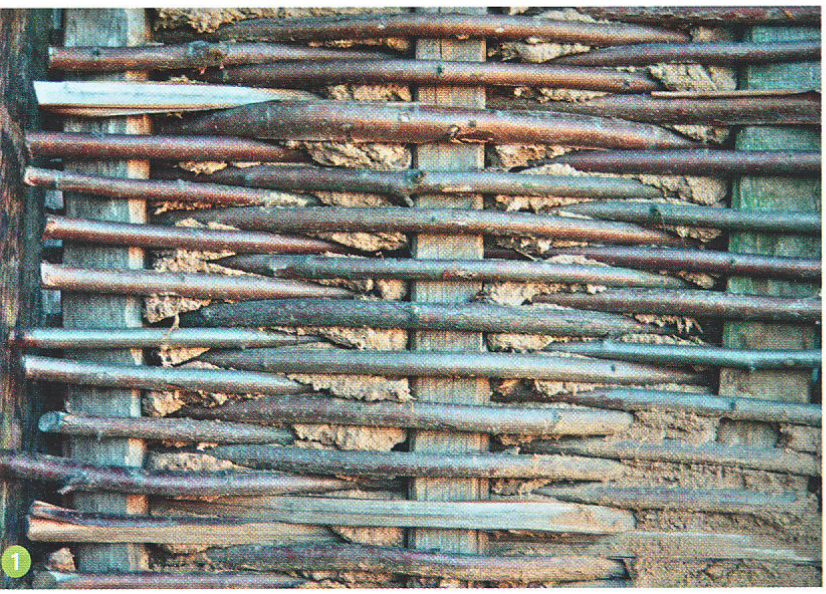
elles seront masquées par les enduits. La forte proportion en paille assure au torchis des performances acoustiques appréciables et une fonction d'isolant thermique moyenne, qui est une base appréciable, par comparaison avec d'autres matériaux, mais qui ne saurait se suffire à elle-même. De plus, le garnissage ne recouvrant généralement pas l'ossature bois, notamment du côté extérieur, l'épaisseur des murs reste faible. La construction, légère, nécessite des solutions complémentaires pour obtenir un degré d'isolation thermique performant. Le complément s'effectue généralement du côté intérieur pour préserver l'esthétique des colombages à l'extérieur.

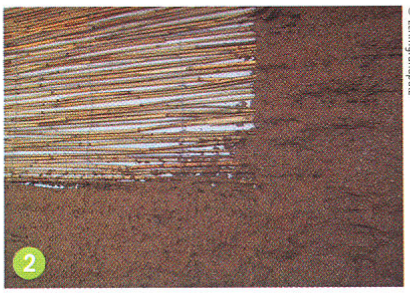
Le torchis d'une masse volumique de 1 600 kg/m³ présente un coefficient lambda d'environ 0,73 W/m.K. Le torchis d'une masse volumique de 1 400 kg/m³ possède un lambda de 0,59 W/m.K.
Si l'on procède au recouvrement total de l'ossature, comme c'est le cas avec les lattages, à l'extérieur et/ou à l'intérieur, il est possible d'obtenir une paroi plus épaisse donc plus performante thermiquement. La protection au feu est également renforcée, par la couche supplémentaire de torchis.

Le torchis protège le bois en absorbant son éventuelle humidité et lui assure une longévité accrue. La régulation hygrométrique est également excellente. L'habitation respire et n'est pas sujette aux condensations.
Notons que le torchis était également utilisé dans les planchers ou sur les planchers de greniers.
D'autres produits peuvent être utilisés pour le remplissage des colombages, comme les adobes ou les briques compressées de terre crue.

Le remplissage en terre

Cette solution est parfaitement adaptée aux structures poteaux poutres (figure 109). L'ossature en bois ne reste pas apparente contrairement aux colombages. Les soubassements doivent être réalisés en dur au moyen de briques de terre cuite, de parpaings, de béton... et recouverts d'une protection contre les remontées d'humidité (arase de mortier hydrofuge ou membrane d'étanchéité). Les poteaux verticaux peuvent reposer directement sur le soubassement ou sur une panne sablière.
Le remplissage du mur peut s'effectuer selon deux méthodes. La plus ancienne consiste à matérialiser l'épaisseur du mur fini au moyen de liteaux verticaux fixés de part et d'autre du mur. Ils servent d'appui pour les banches de coffrages. Ils seront retirés après séchage. Le vide créé à leur emplacement sera comblé avec un mélange de terre et de paille.
La seconde méthode consiste à créer une ossature secondaire en échelle. Des liteaux verticaux, de 4 x 6 cm environ, sont reliés à des liteaux horizontaux pour former une ossature. Elle servira de support à un coffrage perdu composé de nattes de roseaux, ou canisses, agrafées. Les canisses resteront en place après réalisation du mur et serviront de support à l'enduit (figure 110).
L'épaisseur des murs peut atteindre de 40 à 50 cm. Le mélange est composé de terre et de paille en volume égal, mouillé d'eau jusqu'à obtention d'une consistance plastique. Lors de l'application, on le tasse au moyen d'un pilon en bois.
Il est possible également de réaliser un mélange de terre et de plaquettes de bois (déchets en petits morceaux). La masse volumique est alors de 600 kg/m³, pour un coefficient de conductivité thermique lambda de 0,17 W/m.K.





© Lehmgrundputz

© Thomas Sedlaczek

1 Clayes pour le remplissage au torchis 2 Canisses de support pour enduit à la terre 3 Blocs de remplissage en chanvre et chaux

Figure 110 : Exemples d'utilisation de la terre dans la construction

Prenons un mur type fini de 35 cm d'épaisseur, réalisé avec cette méthode de construction. Il est composé, de l'intérieur vers l'extérieur, d'un enduit de terre de 2,5 cm, d'un remplissage argile/paille de 30 cm, dont la densité est de 300 kg/m^3, pour un coefficient lambda de 0,10 W/m.K, et d'un enduit extérieur chaux/sable de 2,5 cm (lambda de 1,05 W/m.K). Le coefficient U mur obtenu est de 0,309 W/m^2.K.
Le même mur, mais avec cette fois un mélange terre/plaquettes comme remplissage, obtient un coefficient U de 0,501 W/m^2.K.

Les avantages de ce principe constructif sont nombreux. La ressource est disponible en grande quantité et renouvelable, puisque l'on a recours à des déchets de bois, de la paille et de la terre.
L'énergie grise est extrêmement faible. Aucune pollution n'est émise lors de la mise en œuvre. Si la construction doit être démolie, tout peut être recyclé : l'ossature bois peut être réemployée ou brûlée et les matériaux de remplissage compostés.
Ce procédé ne provoque aucun dégagement toxique. Il n'est même pas utile de traiter le bois puisqu'il est noyé dans le mélange, donc naturellement protégé. De plus l'argile possède des vertus fongicides une fois sèche.
La protection contre le feu est également assurée, puisque toutes les structures sont enrobées de matériaux ininflammables.
L'hygrométrie intérieure est régulée naturellement et l'inertie thermique est très importante.
Pour le parement intérieur, on peut utiliser la même solution de coffrage que pour le torchis avec des canisses de roseaux. À l'extérieur, des panneaux de fibres de bois pare-pluie conviendront parfaitement, en prenant soin de remplir les vides de la structure au moyen d'un matériau isolant. Si l'isolant n'a pas lui-même d'inertie, l'inertie totale sera

légèrement diminuée, mais le gain en isolation thermique sera très appréciable.

Le remplissage en bottes de paille

Ce mode de construction (figures 111 et 112), *a priori* original, est apparu au Nebraska, il y a plus d'un siècle et demi. En Europe, la première maison en paille fut construite, en 1921, en France, à Montargis, par l'ingénieur M. Feuillette. Il y aurait actuellement, en France, quelques centaines de maisons en paille, dont la plupart ont été réalisées par des autoconstructeurs.

Plusieurs techniques constructives sont possibles. De nombreux pays anglo-saxons ont normalisé la mise en œuvre de la paille, ce qui n'est pas encore le cas chez nous.

La construction s'effectue sur des soubassements devant isoler parfaitement la structure du sol. La partie supérieure est rendue étanche au moyen d'une arase de mortier hydrofuge ou d'un film étanche, par exemple un feutre bitumé (figure 111).

L'ossature en bois est calculée en fonction des bottes de pailles. L'écartement entre les montants doit correspondre à la longueur d'une botte légèrement comprimée. La section idéale des montants est de 20 x 4 cm environ. Ils reposent sur une lisse basse.

Lors de la mise en œuvre, les bottes de paille doivent être parfaitement sèches. Elles sont placées à l'horizontale entre les montants, puis compressées et bloquées grâce à deux rangées de liteaux, cloués ou vissés sur les montants. L'épaisseur du mur sera alors de 36 cm environ. Si les bottes sont disposées à plat, l'épaisseur du mur atteint 45 cm, sans les enduits.

Les encadrements de baies peuvent être habillés au moyen de panneaux de fibragglos, qui pourront ensuite être enduits. Afin d'éviter les infiltrations, il est recommandé de placer un film d'étanchéité sous les fenêtres.

Une fois la paroi remplie, il convient de rectifier l'alignement des bottes en les poussant du pied ou de les retailler légèrement, le cas échéant.

Elles recevront ensuite un enduit extérieur et un enduit intérieur, en plusieurs couches : accrochage, corps et enduit de finition. L'épaisseur totale de l'enduit intérieur est d'environ 2 cm.

Côté extérieur, on peut passer une barbotine de terre composée d'argile et d'eau destinée à faciliter l'accrochage de l'enduit.

D'après une étude de l'ADEME et de la FFB (Fédération française du bâtiment), la paille a une conductivité thermique lambda utile de 0,07 W/m.K. Une paroi en paille de 36 cm d'épaisseur avec un enduit classique à la chaux de 2 cm d'un côté et un enduit en chanvre et chaux de 2 cm de l'autre présente un coefficient U de 0,25 $W/m^2.K$. Cette valeur tient compte de l'ossature en bois et des interstices entre les bottes. Ce qui correspond à un lambda équivalent mur de 0,10 W/m.K.

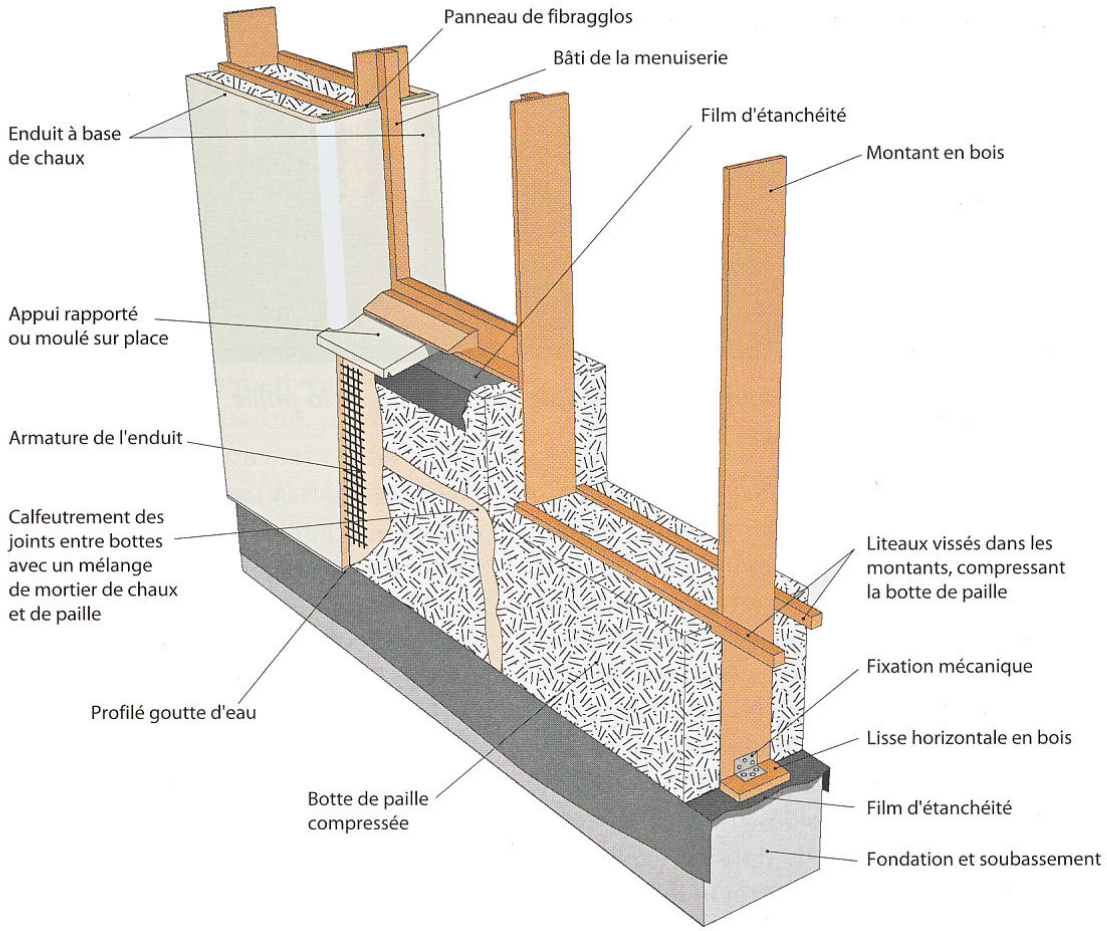
Naturellement, la paille possède une faible densité de l'ordre de 80 kg/m^3 environ.

Sa perméabilité à la vapeur d'eau est très élevée ($\mu = 1$).

Des essais à la tenue au feu ont montré la stabilité d'un mur en bottes pendant plus de 15 min. Les éléments de toiture résistent jusqu'à 20 min et les éléments de mur jusqu'à 85 min. Les mesures réalisées sous l'enduit ont montré que la température n'a pas dépassé 200 °C pendant le temps de référence, les éléments en bois

Construction en paille

Exemple de paroi sur ossature bois



Exemple de traitement des angles (D'après Le Gabion)

(Coupe horizontale)

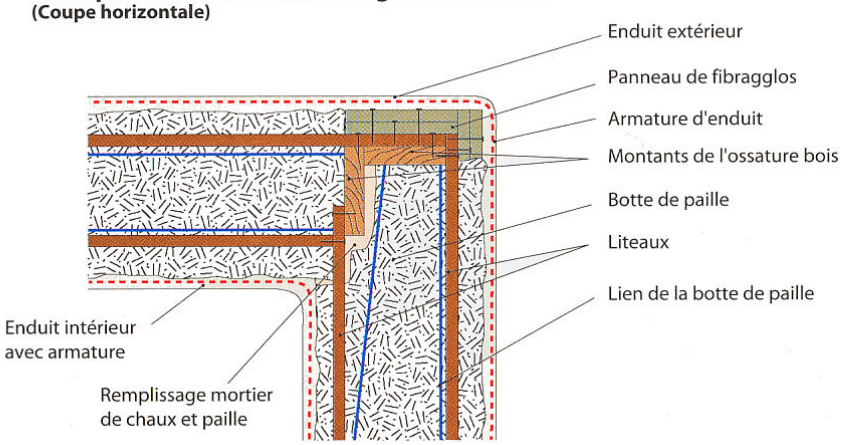


Figure 111 : La construction en paille

Figure 112 : Exemple d'utilisation de la paille

n'ont pas subi de dommages. Néanmoins, il est à noter qu'après 30 min, le feu peut traverser le parement. Le principal danger réside dans les feux couvants qui peuvent se propager à l'intérieur de la paille pendant plusieurs heures avant de déclencher un incendie qui risque alors d'être difficile à maîtriser.
Il est donc très important de soigner les enduits dont la fonction protectrice est indispensable. Ils doivent également assurer une parfaite étanchéité à l'eau.
La paille ne craint pas l'humidité ponctuelle et n'attire pas plus les rongeurs que n'importe quel isolant puisqu'elle n'est pas nutritive.
La paille n'ayant aucune inertie thermique, elle ne peut pas être utilisée pour stocker la chaleur l'hiver ou la fraîcheur l'été. Pour pallier cet inconvénient, il convient de mettre en œuvre des matériaux lourds pour les sols, les refends et les cloisons.

Le remplissage en blocs de chanvre

Comme indiqué précédemment, dans le chapitre consacré au chanvre, il existe également des blocs constructifs non porteurs en chanvre et chaux (figure 111). D'une masse volumique de 300 kg/m^3 et disposant d'un coefficient de conductivité thermique de 0,075 W/m.K, ils peuvent être utilisés pour le remplissage des colombages en lieu et place du torchis. Pour augmenter encore les performances thermiques des murs en blocs de chanvre, vous pouvez réaliser un doublage dans le même matériau du côté intérieur ou extérieur selon l'esthétique recherchée.

Dans une construction à ossature bois traditionnelle, ces blocs peuvent être utilisés en contre-cloison intérieure ou en extérieur, s'ils sont recouverts d'un enduit à base de sable et de chaux.
Dans une ossature à poteaux poutres, ils peuvent servir à créer un mur isolant, du côté extérieur, en appui sur la structure. Les fixations sont alors réalisées avec des équerres sur les montants.
Le remplissage peut également s'effectuer avec du béton de chanvre. Ce dernier peut aussi être appliqué par banchage ou avec du chanvre en vrac.
Par exemple, pour une paroi finie de 27 cm d'épaisseur, composée des éléments suivants, de l'intérieur vers

l'extérieur : 2,5 cm d'enduit de terre, 20 cm de chanvre ou de lin en vrac avec un coefficient lambda de 0,039 W/m.K, 2 cm de panneaux de fibres de bois bitumées avec un lambda de 0,05 W/m.K et 2,5 cm d'enduit extérieur chaux/sable, le coefficient U mur est de 0,12 W/m².K seulement.

La construction en matériaux naturels

Les techniques constructives présentées dans les paragraphes qui suivent sont dérivées ou complémentaires des solutions par remplissage d'ossature. Elles sont naturelles et permettent de respecter une démarche écologique. Cependant, même si on peut les apparenter à l'isolation répartie, les performances thermiques possibles sont intéressantes mais insuffisantes. Il faudra donc prévoir également une isolation rapportée, de préférence naturelle.

Les rondins de bois empilés

Cette technique de construction (figures 113 et 114) venue du nord de l'Europe et déjà connue des Celtes, a couramment été utilisée jusqu'au milieu du XXe siècle. Les maisons en rondins empilés ou fustes sont pérennes et résistent bien aux fortes chutes de neige. Facilitée grâce à l'outillage moderne, cette technique connaît un regain d'intérêt en Amérique du Nord et en Europe. Le mode de construction consiste à superposer des rondins usinés ou des billes de bois brut. Les rondins peuvent également être tournés les uns sur les autres. Autrefois, l'étanchéité à l'air de la paroi, entre les fûts, était assurée par un calfatage de

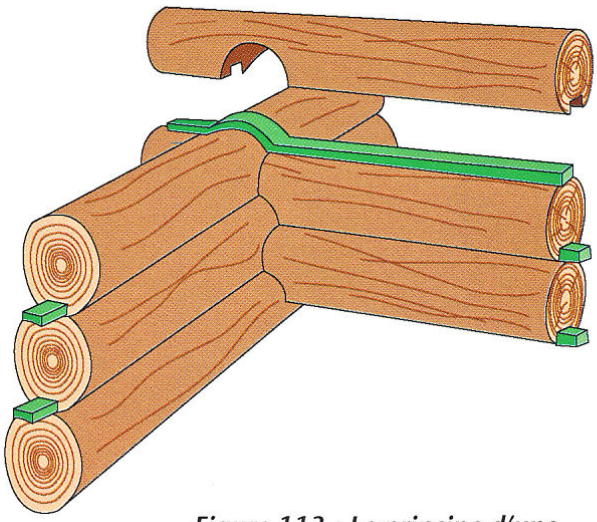


Figure 113 : Le principe d'une construction en rondins empilés

paille et de terre ou d'étoupe. Dorénavant, on utilise des isolants comme le chanvre ou le lin. Remis au goût du jour en France, ce type de construction utilise des billes de bois brut de 25 à 35 cm de diamètre écorcées et entaillées pour permettre leur emboîtement, avec un isolant entre chaque bille. Le principe fait appel à un compas spécifique pour tracer la largeur de la rainure, ce qui permet d'éviter toute torsion des pièces de bois une fois en place. Les essences les plus utilisées sont l'épicéa, le sapin, le douglas, le mélèze, le pin sylvestre et le pin maritime. Les fustes ont une exceptionnelle résistance au feu. Les éléments industrialisés sont un peu plus chers. Ce sont des billes ou des rondins qui sont rectifiés ou tournés. L'emploi d'éléments en lamellé-collé est également possible. Ils offrent l'avantage d'être plus stables que le bois brut.

En ce qui concerne les performances thermiques, notons que le bois est un isolant plutôt moyen : son coefficient lambda

© DFTG

Figure 114 : Exemples de construction en rondins empilés

est compris entre 0,12 et 0,23 W/m.K selon les essences. C'est pourquoi, même massif, il n'est pas assez performant thermiquement pour être utilisé seul. On doit l'associer à d'autres isolants thermiques, qui peuvent eux-mêmes être issus du bois, pour obtenir des performances suffisantes.

Le bois est un bon isolant phonique. Il atténue les bruits aériens (voix, radio, etc.), cependant des dispositions techniques particulières doivent être mises en œuvre lorsque l'on souhaite réaliser une isolation contre les bruits d'impact (pas, chute d'objet, etc.).

Les rondins empilés de 220 mm de diamètre permettent d'obtenir un coefficient U de 0,45 W/m².K. Il est très important de soigner l'étanchéité à l'air entre les éléments pour ne pas dégrader les performances thermiques des parois. Ce type de construction étant lourd, il offre une bonne inertie thermique pour un déphasage, sans isolant et avec cloisons intérieures massives, compris entre six et huit heures.

Les madriers

Le principe de construction en madriers (figure 115) est similaire à celui des rondins empilés à la différence que les éléments constructifs, les madriers, sont massivement industrialisés. Ils peuvent être en bois massif, contre-collés ou lamellés collés. Selon les fabricants, les épaisseurs proposées s'échelonnent entre 70 et 230 mm. Chaque pièce est solidarisée avec la précédente grâce à un assemblage à rainures. Ce type d'assemblage permet l'étanchéité à l'air de la paroi. La technique de construction est d'une grande simplicité. La mise en œuvre rappelle celle des jeux de construction de notre enfance. Le pouvoir de régulation hygrométrique obtenu est exceptionnel. Il garantit une atmosphère saine dans toute la maison.
Cependant, il convient de respecter certaines règles et de maîtriser les techniques de mise en œuvre afin d'éviter tout désagrément, notamment en ce qui concerne les tassements différentiels des éléments en bois debout (menuiseries) et les matériaux inertes (maçonnerie).

Figure 115 : Les constructions en madriers empilés et bois massif

La nature massive des madriers assure une bonne inertie thermique, ce qui est appréciable notamment pour le confort d'été.

Pour des performances thermiques satisfaisantes, il faut avoir recours à un isolant rapporté. En effet, une paroi en madrier de 90 mm d'épaisseur permet d'obtenir un coefficient U de 0,99 W/m².K (le coefficient lambda étant égal à 0,12 W/m.K). On obtient un coefficient U de 0,46 W/m².K avec des madriers massifs de 230 mm, qui sont aussi beaucoup plus chers.

Certains fabricants proposent des madriers constitués de planches de sapin croisées entre elles afin de ménager des vides d'air et d'augmenter les performances thermiques. Ces produits présentent un coefficient U de 0,41 W/m².K pour une épaisseur de 20 cm seulement et 0,26 W/m².K avec des éléments de 34 cm. Si on ajoute 10 cm d'isolant en fibres de bois, on peut atteindre le coefficient U très performant de 0,16 W/m².K.

Un autre système consiste à utiliser des madriers doubles de faible épaisseur (2 x 70 mm ou 2 x 90 mm) en ména-

geant un vide de 10 cm entre eux. Cet espace rempli de ouate de cellulose, par exemple, permet d'obtenir une valeur U de 0,24 W/m².K dans le premier cas et de 0,23 W/m².K dans le second cas. Ces produits permettent de profiter d'un revêtement en bois massif à l'intérieur comme à l'extérieur.
D'autres produits performants et pratiques sont disponibles, comme les panneaux sandwich. Ils intègrent un isolant thermique, comme le liège, ce qui permet de réaliser des cloisons avec une haute isolation acoustique.

Les parpaings en bois

Les parpaings en bois (figure 116) sont des blocs usinés pourvus de plusieurs rainures et languettes destinées à faciliter et renforcer l'assemblage des éléments entre eux, qui s'effectue par vissage ou clouage.
Ils sont généralement fabriqués en douglas purgé de son aubier, car c'est un bois naturellement résistant aux intempéries et aux insectes xylophages. Laissé non traité, il arbore une couleur grisâtre avec le temps, ce qui n'altère en rien ses performances.
Le matériau est léger, environ 100 kg/m², et ne nécessite pas de fondations importantes.
C'est un système constructif qui ne présente pas de difficultés particulières et ne nécessite pas de main-d'œuvre qualifiée.
Il est évolutif car facilement démontable pour une extension ou une transformation. Néanmoins, les passages des réseaux domestiques nécessitent le percement précis des éléments.
Les performances thermiques sont trop faibles pour une isolation satisfaisante, ce qui implique obligatoirement le recours à un isolant rapporté. En effet, les éléments de 20 cm de largeur (lambda de 0,12 W/m.K) présentent un coefficient U mur de 0,55 W/m².K, ce qui est au-dessous de la réglementation thermique.

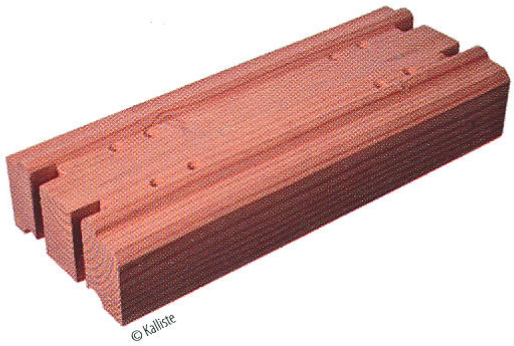


Figure 116 : Une brique de construction en bois

La construction en terre crue

Nous avons vu que l'utilisation de la terre crue dans la construction était une pratique préhistorique. Cependant, encore de nos jours, la terre cuite n'a pas tout à fait détrôné son utilisation. Des programmes régionaux, nationaux ou européens et de nombreuses associations militent pour entretenir le savoir-faire du travail de la terre crue. Les domaines visés concernent aussi bien les programmes de constructions neuves que l'entretien du patrimoine existant. En effet, celui-ci supporte généralement mal les interventions avec des produits actuels ou à base de ciment. Ces techniques demandent des connaissances et de la pratique pour obtenir des ouvrages pérennes. C'est aussi une solution très abordable en termes de prix et de respect de l'environnement pour les autoconstructeurs. Les constructions

en terre crue ont recours exclusivement à des matériaux naturels. Certains fabricants proposent désormais des mélanges prêts à l'emploi pour réaliser son pisé, son torchis, ou ses enduits de terre.
Les parois en terre crue offrent un déphasage compris entre 8 et 12 heures. Les qualités d'amortissement acoustique de ces murs sont correctes. Pour 30 cm d'épaisseur, un mur en terre crue présente un coefficient U de 1,00 W/m².K. Un mur de 50 cm affiche un coefficient U de 0,70 W/m².K. Il faut veiller à tenir compte du retrait au séchage, non négligeable, puisqu'il atteint 2 mm/m. Pour améliorer la résistance à la compression, il est conseillé d'ajouter des fibres. Par conséquent, ces solutions sont insuffisantes en termes d'isolation thermique.

L'argile pleine d'une densité à sec de 1 400 kg/m³, possède un coefficient lambda de conductivité thermique d'environ 0,59 W/m.K. L'argile d'une densité à sec de 2 000 kg/m³ présente un coefficient lambda de 1,13 W/m.K.
Dans le cas d'un mélange terre/paille, la conductivité thermique est comprise entre 0,47 W/m.K (pour une densité à sec de 1 200 kg/m³) et 0,10 W/m.K (pour une densité à sec de 300 kg/m³).
Le facteur de résistance à la vapeur d'eau μ est compris entre 5 et 10 pour l'argile pleine et entre 3 et 10 pour le mélange terre/paille. Ce facteur peut varier en fonction de la densité et des ajouts organiques ou minéraux.

Le pisé

En France, les constructions anciennes en pisé (figures 117 et 118) se trouvent principalement dans la vallée du Rhône, jusqu'en Val de Saône, en Dauphiné, en Bresse et dans le Forez. Le pisé est en fait un béton de terre. Pour réaliser un bon

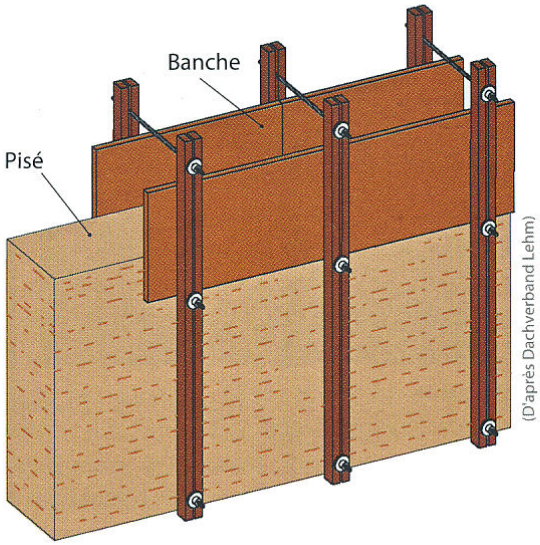


Figure 117 : La construction en pisé

pisé, il faut une terre adaptée contenant des éléments de nature et taille variées, comme les argiles, les slits ou limons, les sables et les graviers. Ceux-ci, stables et insensibles à l'eau, constituent la structure du pisé. Les argiles et les slits apportent à la terre sa cohésion. Ils font, en quelque sorte, office de liants, comme le ciment pour le béton. Entre les différents granulats, les vides contiennent de l'air et de l'eau. Lorsqu'elle est versée dans le mélange, elle enrobe les grains de sable et les graviers, ce qui apporte à la terre une consistance propre à être travaillée. Elle facilite aussi le compactage en élevant la densité du matériau, ce qui contribue à sa résistance. Après séchage, il ne reste plus à l'intérieur du pisé que de l'air dans les vides.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, la terre ne doit pas être trop argileuse. Le mélange doit comporter suffisamment de petits cailloux, de graviers et de sable. Les règles de construction actuelles exigent des niveaux de qualité

© Craterre

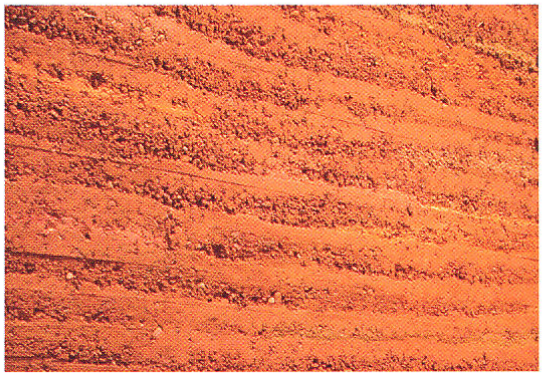

© Conluto

Figure 118 : Exemples de réalisations en pisé

élevés et contrôlés pour les matériaux utilisés. Il faut connaître la texture, la granulométrie, la maniabilité et la cohésion de la terre, par analyse.
Pour confirmer la bonne qualité d'une terre à pisé, vous pouvez effectuer un test simple, celui du cigare. Il s'agit de prendre la partie fine de la terre soit les argiles, les slits et les sables fins, puis d'y ajouter de l'eau. On roule entre ses mains un cigare de 3 cm de diamètre environ. En plaçant ce cigare dans la paume de la main, on le fait glisser en porte-à-faux. Si le cigare rompt en dessous de 5 cm, c'est que le mélange est trop sableux et qu'il manque de cohésion. Si le cigare rompt au-delà de 15 cm, la terre est trop cohésive, donc trop argileuse. Si le cigare rompt entre 5 et 15 cm, cela indique que le mélange est correct.

Une bonne analyse granulométrique donnera ce type de résultat : cailloux (20 à 200 mm), graviers (2 à 20 mm), sables grossiers (0,2 à 2 mm), sables fins (0,02 à 0,2 mm), slits (0,002 à 0,02 mm), argiles (inférieure à 0,002 mm).
Quel que soit le procédé de construction, toute habitation doit être protégée de l'eau. C'est pourquoi, il convient d'employer un matériau adapté pour les soubassements, comme des briques pleines, des parpaings de ciment, des pierres ou du béton. Au-dessus, il faut réaliser une arase de mortier hydrofuge ou poser une membrane d'étanchéité afin d'éliminer tout risque de remontées d'humidité à travers la terre. Le soubassement ne doit pas dépasser le nu du mur extérieur afin d'éviter le rejaillissement de l'eau de pluie.

La terre doit être humide, sans être mouillée et débarrassée des cailloux les plus gros. Elle est disposée en couches, de 15 à 20 cm d'épaisseur, dans des banches en bois, c'est-à-dire des coffrages. Il existe de nombreux types de banches régionales traditionnelles. La terre est ensuite damée, traditionnellement avec un pisoir en bois, pour être ramenée à la moitié de son épaisseur d'origine soit environ 7 à 10 cm. Pour une hauteur de banche de 80 à 90 cm, une dizaine de couches compactées est donc nécessaire. Pour former l'élément suivant, il suffit de déplacer la banche et de renouveler l'opération. Afin d'obtenir une maçonnerie épaisse et consistante, la progression des banches doit s'effectuer dans le sens horizontal, puis vertical.
Pour les ouvertures, l'emplacement des bâtis est réservé directement dans le coffrage au moyen de pièces de bois à

la forme et aux dimensions désirées. On peut également utiliser un linteau et des jambages en bois, en pierres ou en petits éléments maçonnés. La pose des linteaux s'effectue à l'avancement.
Pour les angles, il est conseillé de procéder par harpage. Cela consiste à croiser un rang sur deux afin d'augmenter la stabilité et la résistance de la construction.
Pour terminer la partie haute, il est souvent nécessaire de réaliser un chaînage horizontal, toujours pour garantir la stabilité de l'ensemble.

Les pisoirs en bois sont appréciés des amateurs de techniques traditionnelles, cependant ils font désormais place à des outils plus modernes comme les fouloirs pneumatiques. De même, pour une plus grande facilité de mise en œuvre, on peut remplacer avantageusement les banches en bois par des systèmes modulaires de banchage pour béton armé. De plus, les murs compactés avec ces moyens plus modernes ont une densité sèche plus uniforme qu'avec une technique manuelle traditionnelle.
Pour la finition extérieure, on peut choisir des enduits de terre à l'ancienne. Ils sont généralement composés de terre et de paille finement hachée, ou de fibres artificielles, avec éventuellement des stabilisants comme la chaux naturelle. Pour un effet décoratif plus prononcé ou pour rehausser la teinte naturelle des terres, on peut incorporer aux enduits des oxydes ou des ocres.
On peut également utiliser des enduits à base de chaux pour leur résistance à l'usure et à la pénétration des eaux de pluie. Veillez à choisir de la chaux aérienne (CL 90, 80 ou 70).
Les constructions en pisé avaient généralement des toitures à larges débordements pour être protégées le plus possible de la pluie. Ce qui n'est plus nécessaire avec les revêtements actuels. Attention toutefois à ne pas appliquer un produit étanche afin de conserver les propriétés respirantes du mur (régulation de l'humidité et transfert de vapeur d'eau).
On trouvait également des finitions à base de galets en arêtes de poisson insérés dans le pisé et de tessons de terre cuite, destinés à la décoration mais également à la protection du mur.
À l'intérieur, les enduits de terre conviennent parfaitement. De nombreux distributeurs spécialisés proposent ce type de produits en différents coloris et granulométries.

Si l'inertie thermique qu'apporte le pisé est élevée, ses performances d'isolation thermiques restent insuffisantes. En effet, son coefficient lambda est de 1,05 W/m.K. Un mur en pisé de 20 cm d'épaisseur présente un coefficient U de 3,20 $W/m^2.K$. Cette valeur passe à 2,60 $W/m^2.K$ pour un mur de 30 cm d'épaisseur et à 1,58 $W/m^2.K$ pour un mur de 65 cm d'épaisseur.
Il est par conséquent impératif de renforcer l'isolation thermique des murs en pisé, tout en veillant, naturellement, à choisir des produits compatibles et capables, si possible, de conserver l'inertie thermique des murs.

L'isolation peut se faire par l'intérieur, avec les inconvénients que cette solution comporte. Une méthode traditionnelle consiste à réaliser un enduit terre/paille de 1 cm d'épaisseur, sur lequel on posera des panneaux isolants en roseaux de 20 à 50 mm d'épaisseur, dont le coefficient lambda est de 0,056 W/m.K. En lieu et place des roseaux, on peut installer des

panneaux en terre de 16 à 25 mm d'épaisseur, de coefficient lambda 0,13 W/m.K ou réaliser un contre-mur qui peut être en briques de terre/paille, ou adobes, dont le coefficient lambda est compris entre 0,21 et 0,66 W/m.K. On peut aussi effectuer un dressage en terre/copeaux de bois (lambda de 0,17 W/m.K).
Le recours à des isolants plus classiques est aussi possible. Si l'on rajoute 10 cm d'isolant de coefficient lambda 0,040 W/m.K sur un mur en pisé de 30 cm d'épaisseur, le coefficient U passe à 0,34 W/m².K.
En recouvrement de cette isolation, on peut appliquer une barbotine de terre finement tamisée, puis un badigeon ou un enduit fin à la chaux, voire du plâtre et une peinture, en veillant à ce qu'elle ne soit pas étanche.
L'isolation par l'extérieur, si elle est possible est une solution encore plus efficace. Pour cela, il est nécessaire d'unifier et d'aplanir la surface avec un mortier de terre, puis de poser un matériau isolant comme ceux indiqués pour l'intérieur. L'enduit final peut être à base de sable et de chaux ou un produit commercialisé adapté.
La construction en pisé peut être judicieusement utilisée dans les constructions modernes.
L'un des avantages est qu'en cas de détérioration, il suffit de coffrer à nouveau les parties endommagées et de les réparer au torchis ou d'utiliser des briques de terre/paille. Pour réparer les méfaits de l'usure, il suffit de refaire les enduits.

La bauge

La bauge est un procédé traditionnel qui consiste à modeler les parois de terre crue directement sans avoir recours à des moules ou à des coffrages. Pour ce faire, on dresse des paquets de terre en ajustant les parements. La terre employée doit posséder la plasticité idéale adaptée à ce genre de construction. La technique est utilisée en Afrique, au Yémen, ainsi qu'en Europe. En France, on la trouve en Camargue, en Vendée, en Ille-et-Vilaine, en Bretagne, dans le Centre et dans le Cotentin.

La terre doit être sableuse et demi-grasse, mêlée avec des fibres végétales telles que la paille, le foin ou la bruyère, dont le but est de renforcer les propriétés mécaniques des murs, et d'éviter la formation de fissures au séchage. De plus, le pouvoir isolant se trouve renforcé. Le mélange typique se compose de 33 % de sables, de 21 % d'argile et de 1,6 % de fibres. L'eau est ajoutée au fur et à mesure. On place en tas des couches alternées de terre et de paille que l'on piétine à chaque couche. L'eau est ajoutée avant la couche suivante.

Les soubassements doivent être protégés contre les remontées d'humidité. Pour l'élévation des murs, on étale le mélange, en le piétinant et en le faisant déborder du soubassement. La progression s'effectue par des assises d'un mètre environ. Après séchage, le parement est ajusté par tranchage, puis on monte une autre assise. Il est impératif de protéger les murs contre la pluie et les infiltrations d'eau. C'est pourquoi la toiture doit être très couvrante. De même, en haut des murs, il convient de réaliser une étanchéité. Les appuis de fenêtre doivent être saillants et un enduit de protection adapté est indispensable.
Cette technique constructive n'est plus pratiquée dans nos régions. Le séchage est long et la résistance aux intempéries médiocre reste un inconvénient de taille.

Les briques crues ou adobes

La technique des adobes consiste à mouler des briques avec de la terre crue et à les laisser sécher (figure 119). Elles étaient utilisées principalement en Aquitaine et en Champagne.

La terre, molle ou plastique, est mélangée à des fibres végétales comme des pailles de céréales hachées ou des copeaux de bois, et de l'eau. Ce mélange est mis dans des moules en bois et arasé pour façonner les briques. Le moule doit être rempli sans être compacté. Après démoulage, les briques sont à l'air libre pour le séchage ou au soleil, lorsque cela est possible. Elles peuvent aussi être stockées à couvert dans les régions humides.

Les adobes sont commercialisées chez les distributeurs spécialisés. Elles offrent un lambda de 0,21 à 0,66 W/m.K selon leur densité, comprise entre 700 et 1 500 kg/m^3. Le mortier employé pour le montage, de composition similaire, a un coefficient de conductivité thermique de 1,02 W/m.K.

Les performances thermiques d'une paroi en adobes ne sont pas exceptionnelles. Si elles ont une masse volumique de 700 kg/m^3, le coefficient U est de 0,79 W/m^2.K pour une épaisseur de 24 cm. Pour un mur de 49 cm d'épaisseur, le coefficient U atteint 0,42 W/m^2.K. Cela reste insuffisant en l'état et nécessite un complément d'isolation, qui peut lui aussi être naturel.

Avec des adobes d'une masse volumique de 1 200 kg/m^3, le coefficient U passe à 1,36 W/m^2.K pour un mur de 24 cm d'épaisseur et à 0,79 W/m^2.K si le mur a une épaisseur de 49 cm. En ajoutant une isolation complémentaire de 10 cm avec deux épaisseurs de panneaux de roseau/terre, on obtient un coefficient U de 0,40 W/m^2.K.

L'isolation acoustique des adobes est satisfaisante, notamment grâce à leur densité.

Les briques doivent être préalablement humidifiées avant leur montage au mortier, qui peut être de même composition que les briques ou à base de chaux. Pour assurer l'accroche correcte du futur enduit, il faut veiller à réaliser les joints en creux.

Avant d'appliquer l'enduit de finition, il est préférable d'humidifier le mur, notamment dans le cas d'un enduit en terre.

Les adobes peuvent aussi rester apparentes. Il suffit alors de les peindre avec une peinture adaptée ou d'appliquer un badigeon à la chaux. Cette solution est néanmoins déconseillée à l'extérieur.

Il est à noter que les briques étirées non cuites ne sont pas adaptées pour la réalisation de maçonneries porteuses.

Les briques crues peuvent servir également au remplissage des ossatures bois, tels que les colombages. Un enduit extérieur de protection à la chaux est indiqué dans ce cas.

Il existe également des briques de terre crue comprimées. Le travail s'effectue

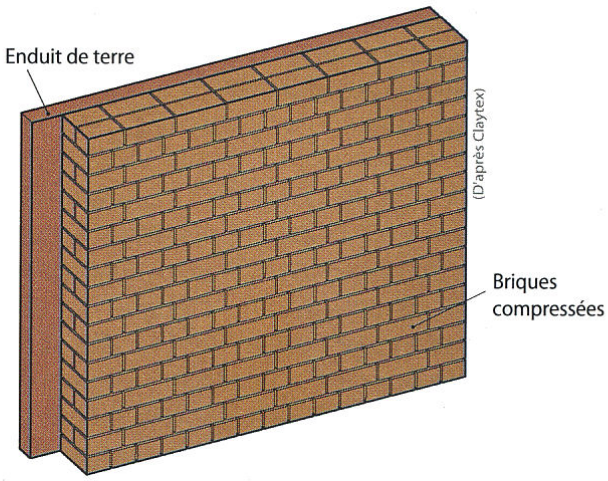


Figure 119 : La construction en briques crues

alors avec une terre peu humide, c'est-à-dire avec la même teneur en eau que pour le pisé, mais à la différence près que l'on n'incorpore pas de fibres. On élimine par criblage les plus gros graviers et grumeaux d'argile, puis on mélange avec un stabilisant dans une proportion de 3 à 6 %. Le stabilisant permet d'augmenter la durabilité des blocs, par exemple s'ils sont mis en contact avec l'eau ou en cas de gel, et d'en augmenter la résistance mécanique. Dans le cas d'une terre argileuse, on utilise de la chaux aérienne comme stabilisant. Si la terre est argilo-sableuse, le stabilisant retenu est du ciment. Naturellement, si les blocs ne sont jamais susceptibles d'être humidifiés, le recours à un stabilisant est inutile.

Lorsque le mélange est suffisamment malaxé, on procède au moulage, au moyen de presses manuelles, mécaniques ou hydrauliques. Après séchage, les briques crues sont mises en œuvre comme les adobes. Cette méthode, qui s'est développée dans les années 1950, permettait d'obtenir des briques plus denses et de forme plus régulière. Elles sont indiquées comme éléments porteurs pour des constructions jusqu'à trois étages. Avec la même méthode, il est également possible de fabriquer des blocs creux.

Les constructions en briques crues présentent des limites architecturales contraignantes. La longueur maximale d'une paroi entre deux angles ne doit pas dépasser 6 mètres. Pour des murs plus longs, il est nécessaire de monter des murs de refend tous les 5 mètres ou des contreforts. Les ouvertures ne doivent pas excéder un tiers de la surface totale de la paroi. Les linteaux ont une portée maximale de 1,20 m et elles ne doivent pas être placées à moins de 1 m mètre d'un angle. Un chaînage horizontal est souvent nécessaire pour garantir la stabilité de l'ensemble.

Les menuiseries extérieures

Les chapitres précédents ont montré que les solutions et les produits d'isolation pour les parois opaques sont nombreux. Pour parvenir aux performances souhaitées, que ce soit pour respecter strictement la réglementation ou pour atteindre un niveau d'isolation encore plus élevé, il suffit de faire son choix parmi la multitude de matériaux, d'épaisseurs et de modes de mise en œuvre. Tous les niveaux de performance sont accessibles selon la volonté et le budget que l'on souhaite consacrer à l'isolation.

Ce qui est vrai pour les parois opaques se révèle bien plus compliqué pour les parois vitrées. En matière d'isolation thermique, elles demeurent le principal point faible de nos maisons. Leur rôle étant avant tout de faire pénétrer la lumière du jour dans les pièces, nous ne pouvons pas nous en passer. Le principal inconvénient des parois vitrées est la difficulté à concilier transparence et isolation thermique. C'est une gageure pour la recherche qui n'a pas encore trouvé la solution idéale, à des coûts raisonnables.

Pour donner un ordre de grandeur, nous avons vu qu'il était possible d'atteindre, pour une paroi opaque, un coefficient U inférieur à 0,15 $W/m^2.K$, soit le niveau exigé pour les maisons passives. Or,

dans le domaine des parois vitrées, ce coefficient explose : un simple vitrage présente un coefficient U de 5,7 W/m².K. Il est aisé de comprendre que ces points particuliers de la construction devront faire l'objet d'une attention toute particulière.

Autant que faire se peut, il convient d'agir dès la phase de conception, en suivant des règles simples mais efficaces de la construction bioclimatique. L'intérêt de placer peu d'ouvertures au nord pour limiter les pertes apparaît encore plus flagrant. Les ouvertures au sud, plus elles sont nombreuses ou grandes, créent aussi des déperditions. Cependant, celles-ci sont contrebalancées par les apports solaires en hiver.

Les piètres performances des simples vitrages ne sont heureusement plus la norme, les produits ont évolué. Il est indispensable de choisir les meilleurs vitrages proposés par les fabricants en comparant les performances, les caractéristiques et les prix. Un bon prix à l'achat n'est pas forcément une option judicieuse. En effet, on ne change pas régulièrement ses fenêtres. Une économie sur l'investissement de départ peut s'avérer une fausse bonne idée par la suite à cause de l'énergie supplémentaire dépensée inutilement. Les menuiseries extérieures doivent être considérées comme un investissement qui exclut tout produit bas de gamme.

Il est important également de vérifier les performances thermiques et acoustiques du bâti des fenêtres. En effet ils peuvent aussi être sources de grandes disparités en terme de qualité.
Parmi les menuiseries extérieures, il ne faut pas non plus négliger le choix de la porte de la maison. Outre l'esthétique et la solidité, il est important de vérifier des critères auxquels on ne pense pas forcément pour cet équipement, à savoir le niveau d'isolation thermique et acoustique.

Les performances des menuiseries

Outre la mise en œuvre qui se doit d'être parfaite, pour éviter tout pont thermique et pour assurer l'étanchéité à l'air et à l'eau de l'habitation, deux composants essentiels déterminent les qualités et les performances des fenêtres ou des portes-fenêtres : le vitrage et le châssis.
Les menuiseries extérieures vitrées étant composées de plusieurs éléments, il faut plusieurs valeurs pour définir leurs performances thermiques, donc plusieurs coefficients de transmission surfacique U.
Ainsi, on utilise le coefficient Ug (*glass*) pour caractériser les performances du vitrage, qui peut être simple, double ou triple. Pour les performances du châssis, on utilise Uf (*frame*). Le coefficient Uw (*window*) indique les performances de la fenêtre dans sa totalité, c'est-à-dire vitrage plus châssis. La réglementation thermique utilise un coefficient supplémentaire, Ujn (jour/nuit), qui sert aux calculs thermiques en tenant compte, notamment, des volets, quand il y en a. En effet, lorsque les volets sont fermés les performances des parois vitrées sont améliorées grâce à l'espace intermédiaire créé entre la fenêtre et l'extérieur.

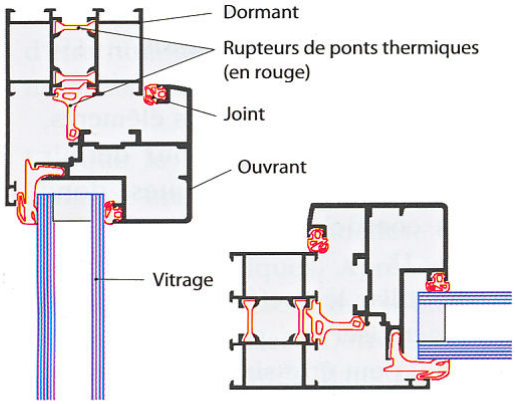
Si vous souhaitez intégrer des parois vitrées directement sur l'extérieur, sans système d'ouverture, la principale valeur à retenir pour guider votre choix est Ug.

Performances des menuiseries

Exemples de performances de doubles vitrages

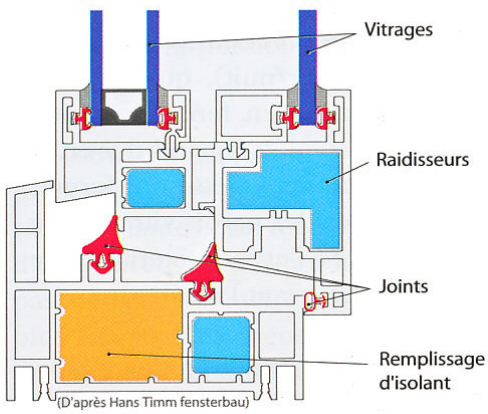
Type de vitrage	Coefficient Ug (W/m².K)
Simple vitrage 6 mm	5,7
Double vitrage 4 - 12 - 4	2,9
Double vitrage 6 - 12 - 6	2,8
Double vitrage 4 - 12 - 4 lame d'air, peu émissif	1,7 à 1,9
Double vitrage 6 - 12 - 6 Lame d'air, peu émissif	1,9
Double vitrage 4 - 12 - 4 lame argon, peu émissif	1,3 à 1,7
Double vitrage 6 - 12 - 6 lame argon, peu émissif	1,6
Double vitrage 4 - 16 - 4 lame argon, peu émissif	1,1
Survitrage de 4 mm lame d'air de 12 mm (4 - 12 - 4)	3

Les menuiseries aluminium à rupteurs de ponts thermiques



Fenêtre à deux ouvrants simultanés en PVC

Performances de la fenêtre : Uw de 0,79 à 1,0 W/m².K

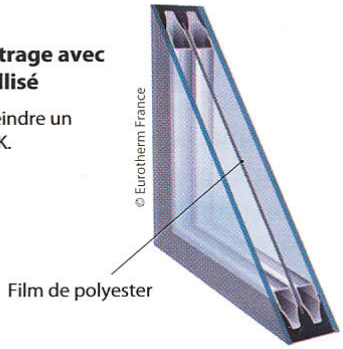


Exemples de performances de triples vitrages

Type de vitrage	Coefficient Ug (W/m².K)
Verre peu émissif (4 mm), argon (10 mm), verre extra clair (4 mm), argon (10 mm), verre peu émissif (4 mm)	0,8
Verre peu émissif (4 mm), argon (12 mm), verre extra clair (4 mm), argon (12 mm), verre peu émissif (4 mm)	0,7
Verre peu émissif (4 mm), argon (16 mm), verre extra clair (4 mm), argon (16 mm), verre peu émissif (4 mm)	0,6
Verre peu émissif (4 mm), krypton (12 mm), verre flotté (4 mm), krypton (12 mm), verre peu émissif (4 mm)	0,5

Exemples de double vitrage avec film de polyester métallisé

Ce type de vitrage peut atteindre un coefficient Ug de 0,6 W/m².K.



Exemple de porte pour maison passive en PVC (D'après Rehau)

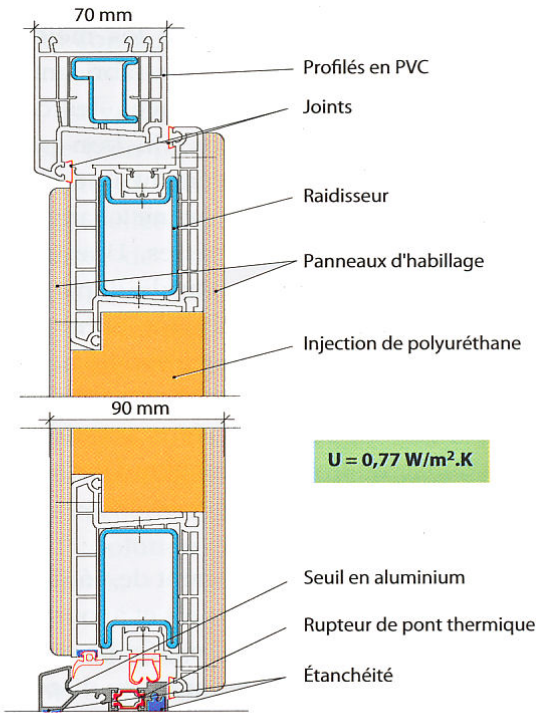


Figure 120 : Les performances des menuiseries

Pour évaluer les performances des différents modèles proposés par les fabricants, comparez leur coefficient Uw.

Les vitrages

Les performances thermiques des simples vitrages étant très faibles (Ug compris entre 5,7 et 6 W/m².K, figure 120), les fabricants les ont tout simplement abandonnés pour les menuiseries extérieures.

Le procédé du double vitrage est apparu à la fin des années 1970, suite aux prises de conscience engendrées par les deux premiers chocs pétroliers. Toutes les solutions étaient envisagées pour économiser de l'énergie.
Le principe consiste à emprisonner, entre deux vitres, de l'air sec dont les performances thermiques sont bien meilleures que celles du verre. L'espace, nécessairement étanche, est protégé par un mastic et par l'adjonction d'un produit dessicatif pour absorber l'humidité de l'air. C'est pourquoi, au fil du temps, il arrive parfois que le produit dessicatif se sature en humidité, avec pour effet la formation de buée entre les vitres. Les performances thermiques n'étant plus assurées, il convient alors de procéder au remplacement de la fenêtre.
Les doubles vitrages classiques comprennent un verre de 4 mm d'épaisseur, un vide d'air de 12 mm et un verre de 4 mm. Les performances thermiques d'un tel complexe permettent d'atteindre un coefficient Ug de 2,9 W/m².K. Si l'on porte l'épaisseur des verres à 6 mm, le coefficient Ug subit une légère amélioration avec 2,8 W/m².K.
On comprend que le gain, peu significatif, ne mérite pas le surpoids en verre et que le châssis du double vitrage doit être prévu en conséquence.
Pour les doubles vitrages, la notation couramment utilisée reprend, dans l'ordre, les épaisseurs en millimètres des diverses couches, par exemple 4-12-4.

À partir des années 1980, apparaissent les doubles vitrages à basse émissivité. Le principe consiste à appliquer sur l'une des vitres, dans l'espace entre les deux verres, une fine couche de dépôts d'oxydes métalliques ou d'argent (figure 121). La pellicule formée est invisible à l'œil nu et ne nuit pas à la transparence globale du double vitrage. Cependant, elle permet de filtrer le rayonnement solaire en opposant une barrière aux rayons UV

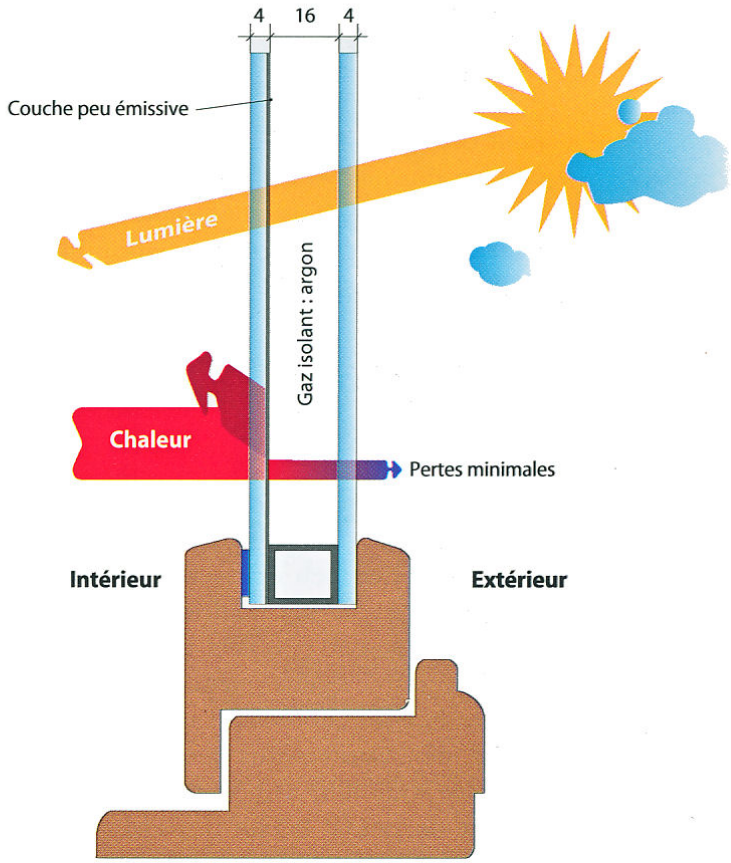


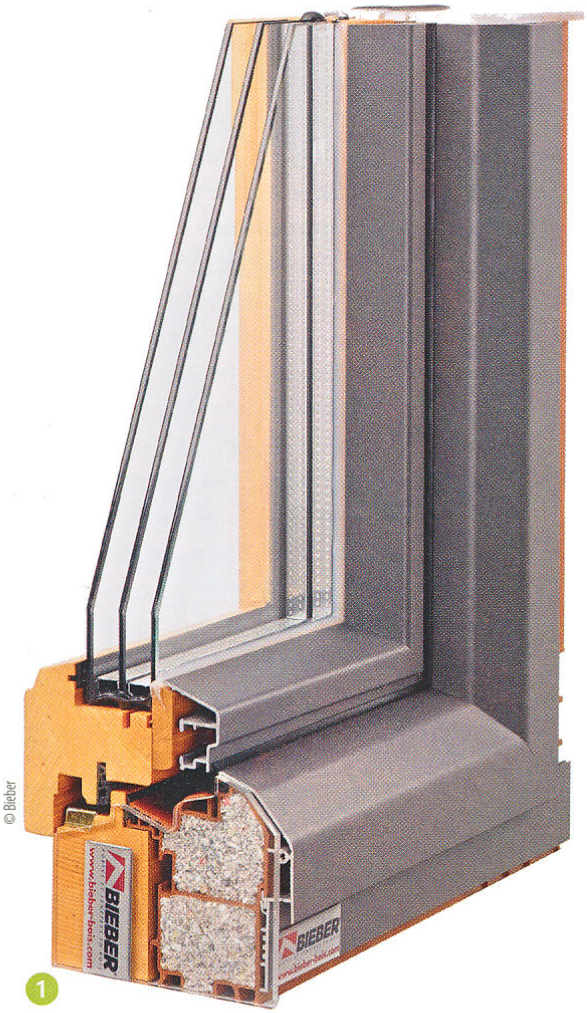
Figure 121 : Le principe des vitrages peu émissifs

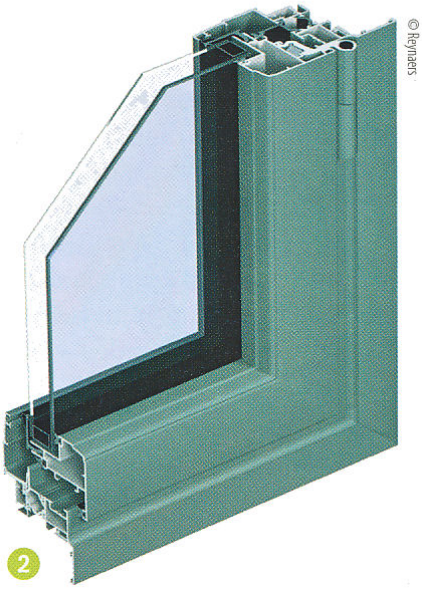
et au flux de chaleur provenant de l'intérieur de l'habitation. Ces vitrages sont caractérisés par un coefficient Ug pour le confort d'hiver et, selon leur facteur solaire, pour le confort d'été. Plus les valeurs sont basses, meilleurs sont les performances du vitrage.
Le coefficient Ug de ce type de vitrage en 4-12-4, est compris entre 1,7 et 1,9 W/m².K.

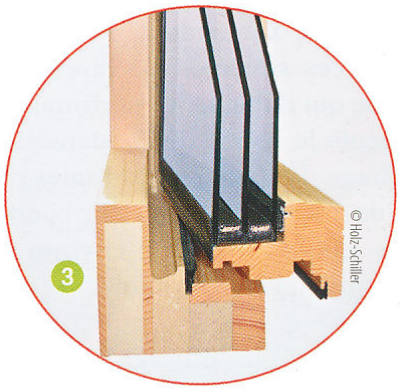
De meilleurs résultats sont possibles, en injectant dans l'espace entre les deux vitres, un gaz plus isolant que l'air comme l'argon ou le krypton. Ce procédé permet d'améliorer les performances de 0,3 W/m².K. On arrive donc à obtenir des vitrages avec un coefficient Ug de 1,1 à 1,7 W/m².K, voire moins. L'utilisation du verre trempé améliore encore légèrement les performances.
Cependant, le niveau de performances demeure très éloigné de celui que l'on peut obtenir avec les parois opaques. Il faut se tourner vers d'autres solutions, apparues, comme souvent, dans le nord de l'Europe et désormais disponibles en France. C'est le développement des maisons passives en Allemagne et en Autriche, qui a mis au jour la nécessité d'améliorer les performances thermiques des parois vitrées.

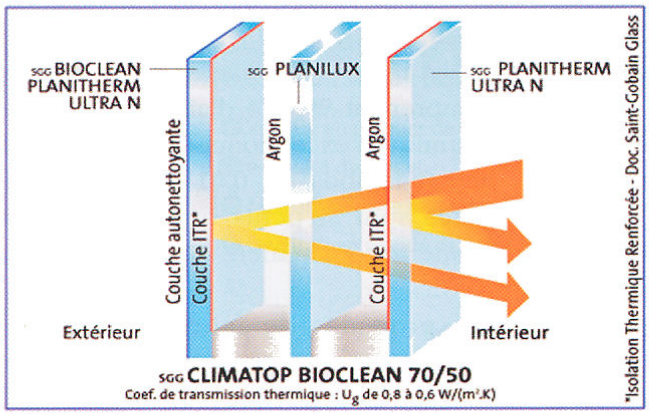
Les fabricants ont donc mis au point des triples vitrages (figure 122), composés de deux verres peu émissifs et de vides remplis d'argon. Le coefficient Ug de tels vitrages est compris entre 0,5 et 0,8 W/m².K. Les performances devraient encore être améliorées à l'avenir.
L'une des contraintes à prendre en compte pour leur conception est l'excédent de poids. Il faut des châssis de menuiserie calculés en conséquence. Les « antis » leur reprochent de dégrader le facteur solaire, de réduire le coefficient de transmission lumineuse, leur prix élevé et leur recours plus massif aux ressources naturelles.
D'autres voies sont étudiées, comme, par exemple la solution qui consiste à remplacer l'air ou le gaz entre les deux verres par du vide. Il existe déjà dans le commerce des fenêtres de toit équipées de ce type de vitrages. Ils permettent d'obtenir un coefficient Ug de 0,6 W/m².K (pour un coefficient Uw fenêtre de 1,2 W/m².K) avec une épaisseur totale de 24 mm. Le double vitrage se compose d'une vitre extérieure en verre trempé de 4 mm recouverte d'une couche d'oxydes à faible émissivité, d'un vide de 10 mm rempli d'un gaz isolant, d'un verre flotté de 3 mm, d'une cavité sous vide, qui est un espacement obtenu avec des intercalaires métalliques, et d'un verre trempé de 6 mm.

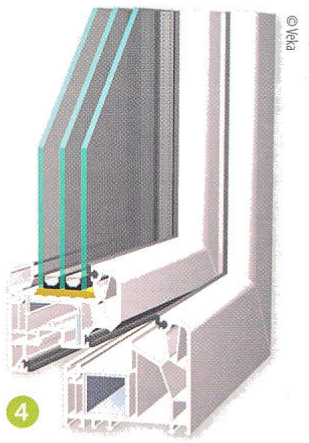
Il existe également des doubles vitrages dont la conception rappelle celle des triples vitrages. Ils intègrent un film de polyester enduit de fines couches métalliques entre les deux verres. L'élément central n'est plus en verre, mais consiste en un film. Ainsi, le vitrage laisse passer la lumière tout en réfléchissant la chaleur vers sa source, qu'elle soit intérieure ou extérieure. Les apports solaires sont diminués en été, ce qui ralentit l'effet de serre. Ces vitrages sont principalement utilisés dans les projets architecturaux et pour les vérandas. Le principal avantage est le poids, similaire à celui des doubles vitrages.
Les performances thermiques sont intéressantes. Si les espaces sont remplis d'air, le coefficient Ug est compris entre 0,9 et 1,3 W/m².K. Avec un gaz rare comme remplissage des espaces, généralement de l'argon ou du krypton, le coef-











Triple vitrage BCE** (Basse Consommation d'Énergie) **autonettoyant.
Le confort absolu.

1 Triple vitrage sur menuiserie en bois et aluminium 2 Double vitrage sur menuiserie en aluminium 3 Triple vitrage sur menuiserie en bois à isolation renforcée 4 Triple vitrage sur menuiserie en PVC

Figure 122 : Les doubles et triples vitrages

ficient Ug atteint des valeurs comprises entre 0,6 et 1,1 W/m².K. En intercalant un deuxième film entre les verres, pour obtenir une sorte de quadruple vitrage, la performance a été poussée jusqu'à Ug égale 0,4 W/m².K. Cependant, ce bon résultat s'obtient au détriment de la transmission lumineuse qui est alors diminuée de 20 %. Ces vitrages restent néanmoins intéressants pour les façades vitrées et les toitures exposées au soleil.

En rénovation, il est parfois difficile de démonter les menuiseries existantes pour les remplacer. On peut dans ce cas installer des survitrages sur les fenêtres existantes pour créer un double vitrage fait maison. Cependant, l'étanchéité à l'air de ces systèmes est rarement parfaite, ce qui diminue les performances et augmente le risque de condensation. Le survitrage des fenêtres existantes permet tout de même d'obtenir un coefficient Ug de 3,00 W/m².K, soit environ moitié moins qu'un simple vitrage.

Une solution plus efficace et nécessitant peu de travaux consiste à poser des doubles vitrages sur mesure sur les anciens châssis. Mais là encore persiste un inconvénient : la mauvaise étanchéité du bâti ancien fera perdre une grande partie de l'avantage procuré par le changement de vitrage.
En ville et le long de certains axes routiers, une autre fonction essentielle est demandée aux vitrages : l'isolation acoustique. Par rapport à un simple vitrage, un double vitrage thermique permet un gain d'environ 27 dB.
Pour améliorer les performances acoustiques d'un vitrage, la seule solution est de jouer sur la masse c'est-à-dire l'épaisseur du verre. Il suffit d'augmenter l'épaisseur de l'une des vitres. Par exemple, un vitrage 4-6-10 offre un gain de 32 dB. Si l'environnement le nécessite vraiment, en cas de fort trafic routier ou aérien, il est possible d'obtenir des performances encore plus importantes, grâce aux verres feuilletés phoniques. Ils permettent des gains de l'ordre de 35 à 40 dB. Leur particularité réside dans leur fabrication. Chauffés jusqu'à 650 °C, ils sont refroidis brutalement. Cela les rend plus résistants aux chocs thermiques et mécaniques. Sous l'effet d'un choc, ils se brisent en très petits morceaux. On les utilise également pour les vitrages anti-effraction. La vitre située du côté extérieur consiste en un véritable sandwich de verres feuilletés et de films de PVB (butyral de polyvinyl). Lorsque le verre reçoit un choc violent, il se brise en restant collé par les films. Il devient alors difficile et peu discret de passer au travers.

Malgré les récents progrès en termes de performances, les vitrages demandent encore à évoluer. Des solutions prometteuses arrivent sur le marché, notamment celles à base d'aérogels (figure 123). Ces matériaux à fort potentiel sont appelés à se développer (voir page 166). Rappelons qu'il s'agit d'une forme de silice amorphe comprenant 99,8 % d'air, aux capacités thermiques exceptionnelles, soit un coefficient lambda de 0,018 W/m.K. Leurs pores sont si petits que l'air ne peut même pas y circuler.

Les procédés de fabrication actuels produisent des aérogels translucides, ce qui n'autorise pas encore leur utilisation comme vitrage classique. Il est possible d'obtenir des aérogels réellement transparents, mais le procédé est extrêmement coûteux puisqu'il requiert l'apesanteur, par conséquent seuls des échantillons sont disponibles. Malgré cet

1 Verrière en plaques de polycarbonate remplies d'aérogel
2 Granulés d'aérogel
3 Médiathèque de Briis-sous-Forge équipées de panneaux d'aérogel
4 Détail d'une plaque de polycarbonate avec aérogel

Figure 123 : Les aérogels pour parois vitrées

inconvénient, qui trouvera certainement une solution grâce à la recherche, ils demeurent une excellente solution pour de nombreuses applications où la luminosité est recherchée, mais sans la vue. C'est le cas, par exemple, des verrières, des fenêtres de toit, des parois opaques pour protéger l'intimité, pour les salles de sport, les musées, les bibliothèques et l'habitat. Ils sont valables pour les applications verticales ou quasi horizontales, en effet une pente minimale de 5 % est requise. Cela est suffisant, par exemple pour le toit d'une véranda.

Les aérogels laissent passer 80 % de lumière par centimètre d'épaisseur. Ils évitent l'éblouissement et offrent une lumière diffuse de grande qualité, sans ombre. Outre leurs performances thermiques exceptionnelles, ils présentent également de bonnes performances acoustiques. Étant très légers, ils ne surchargent pas les structures. Plusieurs produits sont d'ores et déjà disponibles auprès des fabricants spécialisés.

On trouve notamment des plaques de polycarbonate dont les alvéoles sont remplies d'aérogel. Une plaque de 10 mm d'épaisseur à base d'aérogel présente un coefficient U de 1,93 W/m².K. Une plaque de 16 mm d'épaisseur offre un U de 1,31 W/m².K. Pour une épaisseur de 25 mm, le coefficient U peut atteindre de 0,89 à 1,1 W/m².K. Ces produits bénéficient d'un Avis Technique. Le polycarbonate offre une bonne résistance aux chocs et aux UV. Ces complexes isolants sont classés au feu B-s1-d0 selon les Euroclasses. Leur facteur solaire est de 0,59 à 0,61 pour les plaques de 25 mm, c'est-à-dire qu'il ne laisse passer que 61 % de l'énergie solaire.

Des doubles vitrages à remplissage d'aérogel sont également commercialisés. L'aérogel est alors placé entre deux plaques de verre. Les performances thermiques sont très prometteuses. En effet, on atteint un coefficient Ug de 0,6 W/m².K pour un double vitrage d'une épaisseur totale de 30 mm. Pour une épaisseur totale de 60 mm, le coefficient U atteint 0,3 W/m².K. De plus, il n'y a pas de surpoids puisque l'aérogel est très léger. Les innovations ne cessent de faire progresser les performances et de nouveaux produits sont appelés à apparaître sur le marché.

Les menuiseries

Un vitrage seul n'est pas d'une grande utilité dans la construction s'il n'est pas associé à un châssis. Les performances globales d'une ouverture dépendent aussi des châssis. C'est pourquoi ils doivent être de bonne qualité, isolants, étanches à l'air et aux intempéries pour offrir des performances globales satisfaisantes. Pour un même vitrage, les coefficients Uw varient en fonction du matériau utilisé pour le châssis. Il peut s'agir de bois, de PVC ou de métal, comme l'indique le tableau de la figure 124. Les valeurs Uw sont forcément supérieures aux valeurs Ug, donc moins performantes. Les ouvrants coulissants sont généralement moins performants que les systèmes d'ouvrants battants, notamment à cause de leur moindre étanchéité à l'air.

Le matériau le plus ancien utilisé pour les menuiseries est le bois. Il est naturellement assez isolant et présente une résistance mécanique correcte. Les essences exotiques offrent généralement des caractéristiques de longévité appréciables. Veillez à privilégier les produits issus de forêts gérées durablement, reconnaissables aux labels FSC et PEFC. Le principal inconvénient du bois réside dans la nécessité de l'entretenir régulièrement, d'autant plus qu'il est exposé aux intempéries. Les fabricants proposent désormais des modèles de menuiseries mixtes. Le côté extérieur est un parement en aluminium, pour une meilleure résistance aux agressions de la pluie et du vent et pour un entretien réduit. Le côté intérieur, en bois, conserve son aspect traditionnel et chaud.
Les fenêtres en PVC sont très répandues. Le très classique coloris blanc de ces fenêtres n'est plus une fatalité. Les fabri-

Coefficient Uw des fenêtres (menuiserie + vitrage)

Type de menuiserie	Type de vitrage	U_w (W/m².K) sans volet	U_{jn} (W/m².K) avec volet
Bois	Simple	4,2	3,9
	Avec survitrage	2,9	2,75
	Double vitrage 4/12/4	2,55	2,25
	Double vitrage 4/12/4 peu émissif	2	1,8
	Double vitrage 4/16/4	2,4	2,15
	Double vitrage 4/16/4 peu émissif	1,75	1,62
	Double vitrage 4/16 + argon/4 peu émissif	1,6	1,47
	Double fenêtre	2,3	2
PVC	Simple	3,9	3,65
	Avec survitrage	2,75	2,6
	Double vitrage 4/12/4	2,35	2,05
	Double vitrage 4/12/4 peu émissif	1,83	1,63
	Double vitrage 4/16/4	2,3	2,05
	Double vitrage 4/16/4 peu émissif	1,70	1,56
	Double vitrage 4/16 + argon/4 peu émissif	1,55	1,41
Métallique sans rupteur de pont thermique	Simple	4,95	4,5
	Avec survitrage	3,8	3,55
	Double vitrage 4/12/4	3,6	3,05
	Double vitrage 4/12/4 peu émissif	3,04	2,6
	Double vitrage 4/16/4	3,6	3,05
	Double vitrage 4/16/4 peu émissif	2,95	2,52
	Double vitrage 4/16 + argon/4 peu émissif	2,8	2,37
Métallique avec rupteur de pont thermique	Double vitrage 4/12/4	2,9	2,55
	Double vitrage 4/12/4 peu émissif	2,34	2,10
	Double vitrage 4/16/4	2,9	2,50
	Double vitrage 4/16/4 peu émissif	2,25	1,97
	Double vitrage 4/16 + argon/4 peu émissif	2,10	1,82

Figure 124 : Les coefficients Uw des fenêtres

cants proposent désormais des modèles plaxés offrant toutes sortes de couleurs et finitions dont l'aspect bois. Si le bilan écologique du PVC ne plaide pas en sa faveur, il est aussi plus isolant que le bois. De plus, il est possible d'améliorer ses performances thermiques en augmentant le nombre de cavités remplies d'air des profilés.

L'un des inconvénients du PVC, par rapport au bois, est sa moindre rigidité, ce qui implique d'augmenter la section des profilés, au détriment de la surface de vitrage ou clair de vitrage. Pour ne pas trop diminuer la luminosité, il est possible de les renforcer au moyen d'une ossature métallique intégrée dans les profilés. Dans ce cas, les performances thermiques sont légèrement affaiblies. Le PVC présente l'avantage de ne nécessiter que peu d'entretien.

L'acier, longtemps utilisé pour la réalisation de menuiseries d'entrée de gamme n'est plus aux goût et standards actuels. Sa résistance mécanique est excellente, mais il est aussi très conducteur donc inadapté dans le cadre d'une isolation thermique.

Les châssis en aluminium sont très répandus. Bien qu'également conducteurs de la chaleur, leur emploi est rendu possible grâce aux rupteurs de ponts thermiques. Il s'agit de pièces ou de profilés en matière isolante qui solidarisent les

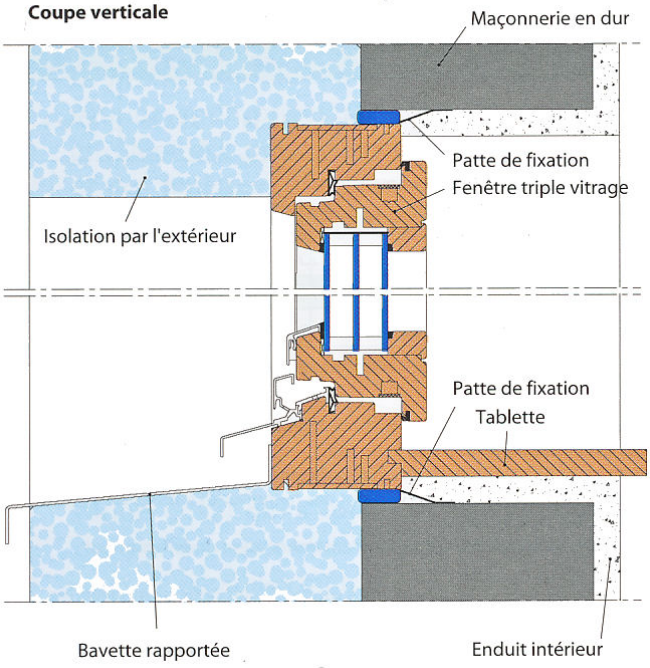
diverses pièces du châssis (figure 120). Ils permettent d'arrêter le transfert de chaleur par conduction d'une partie métallique à l'autre. L'isolation thermique est assurée par les vides d'air des alvéoles à l'intérieur des profilés. L'aluminium est résistant et autorise des profilés fins pour diminuer la taille des châssis et offrir un plus grand clair de vitrage que les autres matériaux. L'entretien des châssis en aluminium est également réduit.

Enfin, il existe un procédé ancien dont l'habitude s'est perdue mais qui pourrait revenir en grâce : la solution de la double fenêtre. À l'époque où il n'était pas encore question de double vitrage, elle était très répandue dans les régions froides ou exposées. Elle était issue de l'expérience et du bon sens. Le coefficient Uw d'une double fenêtre composée de deux simples vitrages est de 2,3 W/m².K, soit un résultat honorable en comparaison avec les procédés actuels. L'espace entre les deux menuiseries dépend naturellement de l'épaisseur du mur. Il existe cependant une restriction, due à la difficulté de rendre étanche à l'air la zone située entre les fenêtres. Sauf si l'on assure une mise en œuvre extrêmement soignée des fenêtres, le transfert thermique ne peut pas être totalement arrêté. Cette solution ancestrale était également excellente pour l'isolation acoustique.
Sur le même principe, il existe des fenêtres à deux ouvrants simultanés (figure 120).
Parmi toutes les solutions disponibles, les meilleures performances reviennent aux fenêtres à triple vitrage. Utilisées pour les maisons passives, elles présentent un coefficient Uw s'échelonnant de 0,60 à 0,89 W/m².K. Comme pour toutes les phases de la construction d'une maison passive, la mise en œuvre des fenêtres à triple vitrage doit s'effectuer de façon minutieuse. La figure 125 présente des conditions d'installation de menuiseries triple vitrage dans une maison passive. On remarquera que la menuiserie est toujours en contact avec l'isolant pour éviter tout pont thermique. Cela vaut aussi pour les autres types de construction, qu'elles soient à ossature bois ou en maçonnerie traditionnelle. Pour les retours de tableaux, les PIV constituent un excellent moyen d'obtenir une isolation optimale avec un minimum d'épaisseur pour ne pas réduire la surface de l'ouverture.

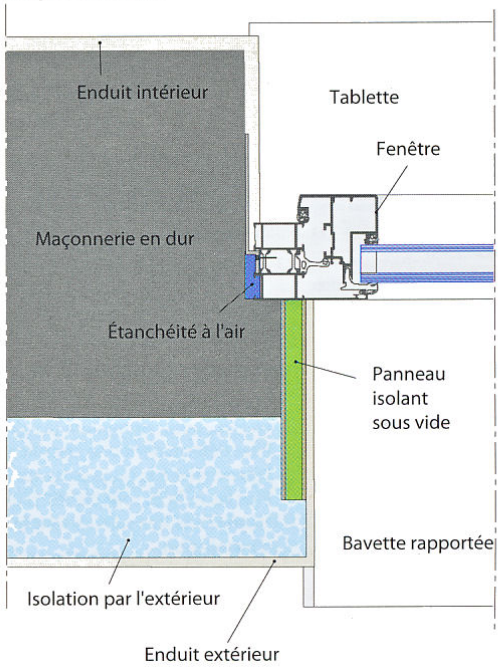
En ce qui concerne la porte d'entrée, qu'il s'agisse d'un projet de construction ou de rénovation, il est également important de bien vérifier les performances d'isolation thermique et acoustique. Elles dépendent du matériau utilisé, de son épaisseur et de la présence ou non d'une partie vitrée. Le critère esthétique devrait toujours arriver en dernier, ce qui est loin d'être le cas.
Du cœur de la porte, qui peut être dérivé du bois ou un remplissage en mousse de polyuréthane, dépendent en grande partie les performances.
Avant d'effectuer votre choix, interrogez-vous également sur les systèmes d'étanchéité à l'air de la porte. Il serait dommage qu'un matériau performant voie ses caractéristiques dégradées à cause d'un filet d'air.
Les portes en bois de qualité correcte affichent des coefficients Uw compris entre 1,2 et 2,9 W/m².K. Une porte en aluminium, avec rupteurs de ponts thermiques présente un coefficient Uw compris entre 1,8 et 2,2 W/m².K. Les portes en fibres de verre ont un coefficient Uw compris entre 0,64 et 1,4 W/m².K. Pour les portes en PVC, ce coefficient dépend du type de panneau opaque utilisé.

Exemples de pose de menuiseries à hautes performances thermiques

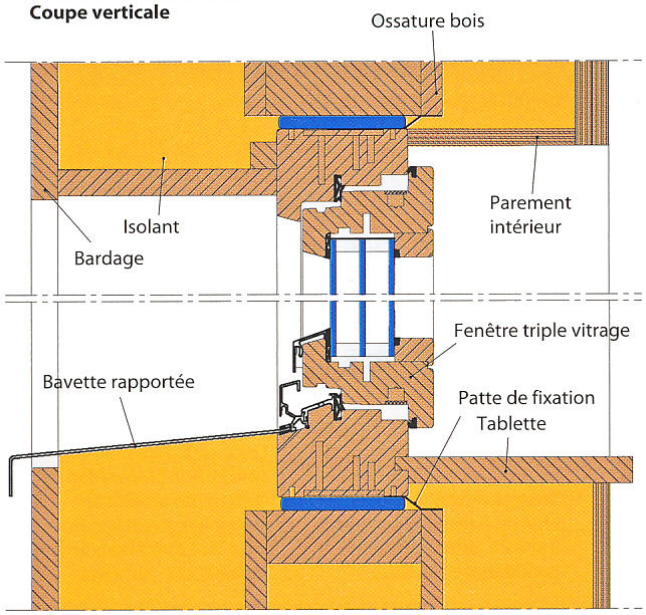
Construction en béton et isolation par l'extérieur
Coupe verticale



Exemple d'utilisation des PIV en tableau
Coupe horizontale



Construction en bois
Coupe verticale



Exemple d'utilisation des PIV pour coffre de volet roulant
Coupe verticale

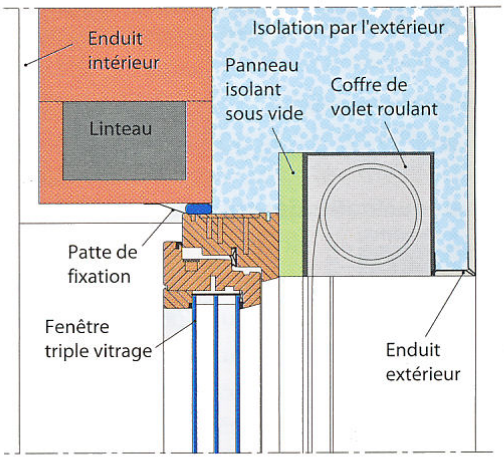


Figure 125 : Exemples de pose de menuiseries à hautes performances thermiques

Les certifications des menuiseries

Certification des vitrages isolants

La certification Cekal concerne les vitrages isolants. Elle certifie la résistance à la pénétration de l'humidité des joints d'assemblage des doubles ou triples vitrages. Elle en atteste également les performances thermiques et acoustiques.

Classes de performances acoustiques

Classes	AR1	AR2	AR3	AR4	AR5	AR6
Indice d'affaiblissement aux bruits route ($R_{A,tr}$ (dB))	25 à 27	28 à 29	30 à 32	33 à 34	35 à 36	37 et +

Exemple de marquage

V Isolant	S1 06	Cekal 980	E				AR2	TR5
Marque de fabrication	Période de fabrication (semestre, année)	Cekal	Aptitude à l'emploi : - E résistance à l'ensoleillement ; -V vitrage extérieur collé ; - R rénovation.				Performances acoustiques	Performances thermiques

Classes de performances thermiques

Classes	TR1	TR2	TR3	TR4	TR5
Ug W/(m².K)	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5
Classes	**TR6**	**TR7**	**TR8**	**TR9**	**TR10**
Ug W/(m².K)	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
Mention isolation thermique renforcée **TR** si Ug ▯ 2W/(m².K)					

Certification des menuiseries extérieures

Les certifications NF, NF CSTBat, CSTBat ou "Certifié CSTB Certified" concernent les fenêtres et les portes-fenêtres en PVC, bois, aluminium (à rupture de pont thermique) et les fenêtres de toit.
Elles déterminent une classification AEV (air, eau, vent). A caractérise la perméabilité à l'air (classes A1 à A4), E l'étanchéité à la pluie battante (classes de E1 à E9) et V la résistance au vent des menuiseries (classes de V1 à V5). Plus les indices sont élevés, plus la menuiserie est performante.
Néanmoins, ces valeurs sont fonction de la zone géographique, du type d'environnement et de la hauteur d'installation.
Pour les blocs-baies une simplification existe sous formes d'étoiles (d'une à quatre étoiles pour les modèles les plus performants).
Les fermetures sont également certifiées par les lettres V (vent), E (endurance), M (manœuvre), C (comportement au choc), R (comportement à l'ensoleillement), O (occultation) et S (corrosion).

La certification Acotherm atteste les performances d'affaiblissement acoustique et d'isolation thermique des menuiseries certifiées NF ou CST Bat.

Performances thermiques

Classes	U en W/(m².K)
Th6	2,6 ≥ U >2,2
Th7	2,2 ≥ U >2,0
Th8	2,0 ≥ U >1,8
Th9	1,8 ≥ U > 1,6
Th10	1,6 ≥ U > 1,4
TH11	U ≤ 1,4

Performances acoustiques (RA, tr (en dB))

Classes	Menuiseries			Bloc-baie			
	Sans entrée d'air	Avec entrées d'air		Sans entrées d'air		Avec entrées d'air	
		Mesuré	Calculé	Mesuré	Calculé	Mesuré	Calculé
AC1	28	26	26	28	28	26	26
AC2	33	31	31	33	33	31	31
AC3	36	34	35	36	37	34	35
AC4	40	38	39	40	41	38	39

Exemple de marquage

00 - 00 NF CSTBat $A^*_3E^*_{7B}V^*_{A2}$ Acotherm $AC_2\ Th_8$

Labels qualitatifs des menuiseries en aluminium

Le label Quanalod concerne les produits en aluminium anodisé. Le chiffre correspond à l'épaisseur de la couche d'anodisation en micromètres. 5 pour l'intérieur, 15 pour l'extérieur et 20 en climat marin.

Le label Qualicoat concerne les produits en aluminium laqués en discontinu après formage. Il certifie les bonnes caractéristiques de la laque, sa tenue dans le temps et une épaisseur minimale de 60 micromètres.

Le label Qualidéco concerne les produits en aluminium décorés de thermolaques à effet (imitation bois, marbre). Il atteste notamment une bonne tenue aux UV.

Le label Qualimarine concerne la préparation de surface des profilés en aluminium avant laquage pour les applications en bord de mer.

Figure 126 : Les certifications des menuiseries

Les certifications

Pour faire le bon choix dans la jungle des offres et des spécifications, le meilleur moyen est de s'assurer que le produit souhaité possède les certifications appropriées (figure 126). Elles attestent des performances des vitrages et des fenêtres. Il existe également des labels permettant d'évaluer la qualité des éléments de fabrication. La certification n'est pas obligatoire, c'est une démarche volontaire de la part des fabricants pour attester et garantir les performances de leurs produits.

Pour les vitrages isolants, c'est la certification Cekal qui s'applique. Elle atteste des performances thermiques et acoustiques des doubles ou triples vitrages ainsi que de la résistance à la pénétration de l'humidité dans les espaces inter vitres. Les performances thermiques sont définies par des classes notées TR avec un chiffre compris entre 1, le niveau le plus faible retenu soit un coefficient Ug au moins égal à 1,9 W/m².K, et 10, le niveau le plus haut, c'est-à-dire les vitrages ayant un coefficient Ug inférieur à 1,0 W/m².K.

Les performances acoustiques sont également certifiées par une classe notée AR et accompagnée des chiffres 1 à 6. AR1 indique l'indice d'affaiblissement acoustique le plus faible aux bruits route, soit de 25 à 27 dB. AR6 indique le meilleur niveau de performance acoustique, soit un affaiblissement supérieur à 37 dB.
Toutes ces informations doivent apparaître sur les produits manufacturés concernés et dans leurs fiches techniques.
D'autres mentions peuvent apparaître sur les menuiseries extérieures, comme « NF », « NF CSTB », « CSTBat » ou « Certifié CSTB certified ». Ces certifications concernent les fenêtres et les portes-fenêtres en PVC, en bois, en aluminium à rupteurs de pont thermiques et les fenêtres de toit. Elles permettent d'établir la classification AEV (air, eau, vent). A caractérise la perméabilité à l'air (classes notées de A1 à A4), E représente l'étanchéité à la pluie battante (classes notées de E1 à E9). V indique la résistance au vent des menuiseries (classes notées de VA1 à VA5). Plus les indices sont élevés, plus la menuiserie est performante. Les tests s'effectuent sur un ban d'essai qui simule les contraintes d'exposition aux intempéries (figure 127).

Pour la perméabilité à l'air, on mesure sa circulation sous une pression donnée. Par exemple, A3 correspond à une qualité supérieure et à un passage d'air inférieur à 30 m³/h/m² sous une pression de 600 Pa, ce qui correspond à un vent de 112 km/h environ.

Pour l'étanchéité à l'eau, on vérifie qu'il ne se produit aucune infiltration sous une pression donnée. Les tests sont réalisés selon deux méthodes : A pour des menuiseries posées au nu extérieur de la construction et B pour une pose au nu intérieur. Si la construction est réalisée avec pose des menuiseries au nu extérieur, le classement selon la méthode A est obligatoire, par exemple E8A.

Pour le classement au vent, on effectue des tests pour évaluer la déformation de la menuiserie, la conservation de ses propriétés à la perméabilité à l'air après des cycles de pression et de dépression et la capacité de la fenêtre à ne pas s'ouvrir sous de forts coups de vent. Par exemple, VA5 caractérise une fenêtre capable de résister à des vents de 210 km/h.

© DFIG

1 Test d'étanchéité de la menuiserie
2 Test de résistance au vent
3 et 4 Test de résistance aux ouvertures et fermetures

Figure 127 :
Les tests des menuiseries en laboratoire

Ces évaluations permettent de choisir les produits les plus adaptés aux conditions d'installation en fonction de la zone géographique, de l'environnement et de la hauteur d'installation. La figure 128 présente le classement AEV des menuiseries pour permettre d'effectuer votre choix.

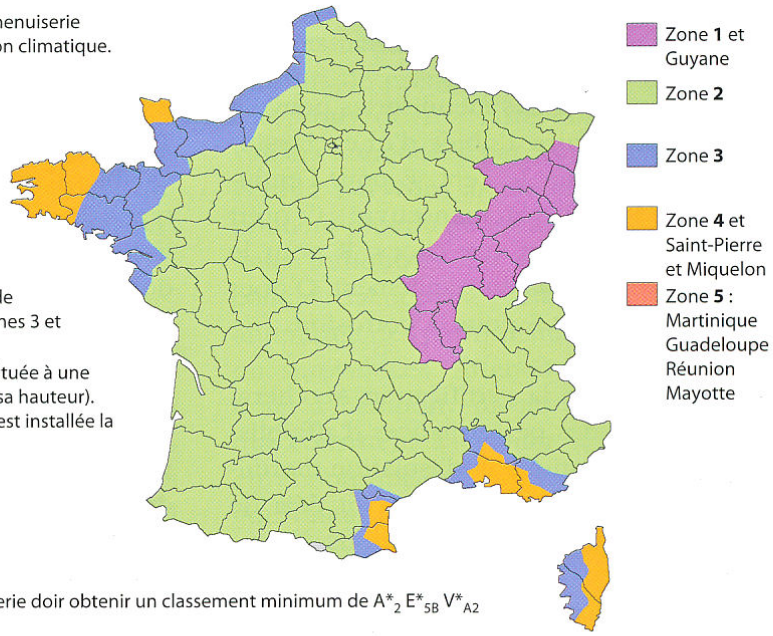
Pour les blocs-baies, il existe une notation simplifiée, sous forme d'étoiles. Les

Le choix des menuiseries selon les conditions d'installation

Le classement AEV permet de définir si la menuiserie correspond bien aux conditions d'exposition climatique.

Il est déterminé selon **cinq zones géographiques** (voir ci-contre), **quatre situations de construction** :
- **a** = intérieur de grands centres urbains (ville où au moins 50 % des bâtiments ont plus de 4 niveaux) ;
- **b** = périphérie des grands centres urbains, petites et moyennes villes ;
- **c** = isolée en rase campagne et situation de construction du littoral méditeérranéen zones 3 et 4 (hors Corse) ;
- **d** = isolée en bord de mer (construction située à une distance du littoral inférieure à quinze fois sa hauteur).

Et selon la **hauteur par rapport au sol** où est installée la menuiserie :
- moins de 6 mètres ;
- entre 6 et 18 mètres ;
- entre 18 et 28 mètres ;
- entre 28 et 50 mètres ;
- entre 50 et 100 mètres.



Pour être certifiée par le CSTB, une menuiserie doir obtenir un classement minimum de $A^*_2\ E^*_{5B}\ V^*_{A2}$ et Ac1 Th6 pour Acotherm.

Le classement minimum à respecter est indiqué dans le tableau ci-dessous.

Zone	Situation	Hauteur de la fenêtre au-dessus du sol (H en m)				
		H ≤ 6 m	8 m < H ≤ 18 m	18 m < H ≤ 28 m	28 m < H ≤ 50 m	50 m < H ≤ 100 m
1	a	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2
	b	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2
	c	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3
	d	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3	A3 E6 VA3
2	a	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2
	b	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2
	c	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A2 E5 VA2	A6 E6 VA3	A3 E7 VA3
	d	A2 E5 VA2	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3	A3 E6 VA3	A3 E7 VA3
3	a	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2
	b	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3
	c	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3	A3 E7 VA3	A3 E7 VA3
	d	A2 E6 VA2	A3 E6 VA3	A3 E7 VA3	A3 E7 VA3	A3 E8 VA4
4	a	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A2 E5 VA2
	b	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3
	c	A2 E5 VA2	A3 E6 VA3	A3 E7 VA3	A3 E7 VA3	A3 E8 VA4
	d	A3 E6 VA3	A3 E7 VA3	A3 E7 VA3	A3 E8 VA4	A3 E8 VA4
5	a	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A2 E5 VA2	A3 E7 VA3
	b	A2 E4 VA2	A2 E4 VA2	A3 E6 VA3	A3 E7 VA3	A3 E8 VA4
	c	A2 E4 VA3	A3 E4 VA3	A3 E8 VA4	A3 E8 VA4	A3 E8 VA5
	d	A2 E6 VA3	A3 E4 VA4	A3 E8 VA4	A3 E8 VA5	A3 E9 VA5

Figure 128 : Le choix des menuiseries selon les conditions d'installation

modèles les moins performants reçoivent une étoile, les plus performants quatre étoiles.

Les fermetures des menuiseries peuvent également faire l'objet d'une classification : V pour le vent, E pour l'endurance, M pour la manœuvre, C pour le comportement aux chocs, R pour le comportement à l'ensoleillement, O pour l'occultation et S pour la corrosion.

Il existe enfin la certification Acotherm qui atteste des performances d'affaiblissement acoustique et d'isolation thermique des menuiseries disposant déjà de l'une des certifications ci-dessus.

Le classement acoustique « Ac » détermine la capacité de la menuiserie à affaiblir le bruit. Les classements vont de Ac1 à Ac4. Plus le chiffre est élevé, plus la menuiserie est performante.
Le classement thermique « Th » évalue les capacités d'isolation thermique de la menuiserie.

Les classements sont notés de Th6 à Th11. Plus la valeur est élevée, plus la menuiserie est isolante.
De manière générale, préférez toujours les menuiseries bénéficiant de ces certifications, pour être assuré d'acquérir des produits de qualité. Pour pouvoir être certifiées, les menuiseries doivent au minimum atteindre un classement de A2 E5BVA2 et pour Acotherm Ac1 Th6.

Pour les menuiseries en aluminium, il existe des labels qui attestent de la qualité des traitements ou des revêtements des profilés ainsi que de leur capacité à résister sous certains climats, notamment en bord de mer (figure 126).

Les solutions d'isolation et leurs performances

Tous les matériaux présentés ne sont pas valables dans tous les cas et pour tous les types de parois. Certaines solutions sont indispensables pour une configuration donnée, alors que d'autres sont inutiles voire déconseillées. En fonction de la nature des travaux, les matériaux mis en œuvre peuvent également différer : certains peuvent être appliqués à la rénovation, d'autres uniquement à un projet de construction neuve, dans le cas d'un agrandissement ou en cas de surélévation d'un bâtiment existant. Nous allons passer en revue les différentes solutions techniques d'isolation thermique pour vous permettre de choisir celle qui convient le mieux à votre projet.

Pour chaque solution proposée, les valeurs U des parois sont indiquées en $W/m^2.K$. En effet, divers systèmes constructifs et isolants manufacturés, avec des caractéristiques thermiques certifiées, sont possibles, notamment en ce qui concerne les parois verticales. Souvent, pour obtenir les mêmes performances avec un autre isolant, il suffit d'utiliser un produit de même résistance thermique. Vous pouvez aussi souhaiter améliorer un exemple présenté. Dans ce cas, il suffit de choisir un isolant thermique dont la résistance thermique R est plus grande et de refaire le calcul pour déterminer le nouveau coefficient de transmission surfacique U. Pour ce faire, vous pouvez utiliser les données fournies pour chaque matériau dans la première partie de l'ouvrage. Vous pouvez également utiliser les feuilles de calcul ou les

logiciels gratuits ou payants disponibles sur Internet pour effectuer cette tâche automatiquement.
Si vous souhaitez adopter une démarche écologique et d'économies drastiques d'énergie, vous découvrirez des solutions d'isolation thermique hautes performances, répondant aux critères des maisons passives, ainsi que des schémas dont vous pourrez vous inspirer.

Quand elles sont connues, les performances acoustiques des solutions d'isolation sont présentées sous forme d'étoiles. Plus le nombre d'étoiles est important, plus le produit est performant. Notez qu'il ne s'agit que de comparaisons indicatives entre les différents systèmes. Des valeurs sont données à titre d'exemple dans la partie consacrée aux solutions acoustiques.

Pour découvrir les procédés de mise en œuvre des différentes solutions, reportez-vous à la troisième partie de l'ouvrage.
Les valeurs de performances thermiques indiquées dans ce chapitre sont données à titre indicatif ou sont des données fabricants. Elles ont pour but de donner un ordre de grandeur des performances que vous pouvez atteindre en adoptant les solutions proposées. Pour des valeurs adaptées à chaque cas de figure, vous devez effectuer votre propre calcul, en fonction de vos paramètres, pour estimer au plus juste les performances possibles ou souhaitées.

N'oubliez pas que seuls les isolants thermiques bénéficiant d'une certification indépendante (ACERMI ou autres) offrent des performances vérifiées de coefficient lambda et de résistance thermique. Ces certifications ont un coût important que nombre de petits fabricants de produits isolants naturels ou autres n'ont pas les moyens de prendre en charge. Dans ce cas, vous devrez faire confiance aux valeurs annoncées par les fabricants ou vérifier par vous-même si elles correspondent plus ou moins à celles que nous vous indiquons. En effet, le discours commercial dépasse parfois les limites en annonçant des performances imaginaires ou surévaluées. Attention aux affirmations à l'emporte-pièce, comme celles qui consistent à évaluer les matériaux en annonçant que 2 cm de tel produit équivalent à 20 cm de tel autre de la concurrence.

La plupart des techniques présentées sont conformes aux DTU ou font l'objet d'un Avis Technique. Les solutions innovantes ou utilisées dans d'autres pays européens nécessitent une étude préalable adaptée à chaque cas particuliers.

Les solutions d'isolation des parois verticales

Avant d'isoler un mur extérieur, rappelons qu'il est primordial de s'assurer qu'il est sain et ne présente pas de traces de remontées capillaires ou d'infiltrations extérieures d'humidité. En effet, outre les désagréments et dégradations dus à l'humidité, les capacités d'isolation de bon nombre d'isolants seront dégradées. Le traitement préalable des zones humides est donc indispensable avant tous travaux d'isolation.
L'isolation des parois verticales peut s'effectuer de différentes manières. La plus

répandue en France, à tort, est l'isolation par l'intérieur, malgré les inconvénients qu'elle comporte, notamment en ce qui concerne les ponts thermiques et les risques de condensation interne. Ce procédé offre l'avantage d'être rapide et peu onéreux.
L'isolation par l'extérieur ou ITE (isolation thermique extérieure) constitue la solution la plus efficace, mais sa mise en œuvre, délicate, exige une maîtrise technique plus avancée.

L'isolation répartie ayant recours à des éléments constructifs isolants, concerne uniquement les projets neufs. Elle fait appel à la maçonnerie roulée qui n'est pas difficile à apprendre, mais qui diffère radicalement de la maçonnerie traditionnelle.
Enfin, la technique du double mur, répandue principalement dans le nord de la France et en Belgique, est très intéressante si l'on considère ses performances thermiques. Cependant, le coût du procédé reste élevé.

L'isolation rapportée par l'intérieur

Cette solution d'isolation est simple à mettre en œuvre. Elle consiste à installer un isolant et une finition du côté intérieur des murs en contact avec l'extérieur ou des locaux non chauffés. En plus des lacunes de cette technique en termes de ponts thermiques, il existe un autre inconvénient qui est l'emprise au sol. En effet, pour obtenir des performances correctes, la surface au sol occupée par l'isolant est importante. La surface habitable est diminuée d'autant. Par exemple, avec un isolant de 10 cm d'épaisseur, plus une plaque de plâtre de 1 cm, il est aisé de calculer le nombre de mètres carrés perdus dans les pièces isolées. L'avantage est que l'on dispose de parois finies prêtes à recevoir le revêtement intérieur (peinture, papier peint, etc.).
Un autre inconvénient est que l'isolation par l'intérieur annule les effets de l'inertie thermique initiale du mur. De plus, il faut prendre des dispositions adaptées pour les fixations d'objets lourds.
Côté extérieur, la paroi doit être en bon état et protégée contre les infiltrations d'eau de pluie. Étant donné que les matériaux ne sont pas disposés dans l'ordre croissant de perméabilité à la vapeur d'eau, ordre qui permettrait la migration naturelle de la vapeur, il y a risque de condensation interne. C'est pourquoi un pare-vapeur s'impose dans le cas d'un isolant fibreux.

Pour diminuer les ponts thermiques au niveau des sols, dans le cas d'un plancher lourd, rappelons qu'il est judicieux de prévoir une isolation sous chape flottante. Dans le même but, prévoyez des planchers intermédiaires de préférence légers. S'ils sont lourds réalisez une isolation des plafonds, en sous-face.
Les ponts thermiques sont importants au niveau des murs de refend lourds, ce qui implique aussi de prendre des dispositions dans ce cas.
Pour l'isolation intérieure, les principales solutions possibles sont les complexes isolants collés, l'isolation avec ossature et plaques de plâtre ou l'isolation avec contre-cloison.

Les complexes de doublage

L'utilisation de complexes isolants à coller est la technique la plus facile et la plus rapide. On l'utilise en neuf ou en rénovation lorsque le support est sain, propre et plan. Un grand choix de matériaux isolants commercialisés sous cette forme

est disponible : laine de verre, laine de roche, polystyrène expansé normal ou renforcé thermique et/ou acoustique, polyuréthane... Le matériau isolant est collé sur une plaque de plâtre en usine avec éventuellement un pare-vapeur. Les plaques mesurent généralement 1,20 m en largeur et peuvent atteindre jusqu'à 3 m de hauteur, ce qui permet de couvrir la plupart des hauteurs d'étage sans raccords. La hauteur des plaques peut poser parfois des problèmes de manutention, notamment dans les maisons à étage ou en immeubles collectifs.

Les plaques sont collées à la paroi au moyen de mortier adhésif (figure 129). Elles sont plaquées contre le plafond et au mur pour parfaire leur adhérence. En partie basse, il convient de réaliser un calfeutrement au moyen de laine minérale ou de mousse de polyuréthane.
Les plaques sont pourvues de bords amincis destinés à recevoir les bandes de joint collées à l'enduit. Il s'agit de bandes de papier destinées à masquer les raccords et à éviter les fissures après séchage. La pose doit être soignée afin d'éviter toute surépaisseur.
Les plaques de plâtre ont généralement une épaisseur de 10 mm, ou 13 mm, ce qui augmente légèrement leurs performances. Les plaques de plâtre peuvent être classiques, hydrofuges, renforcées, acoustiques, ou pourvues en usine d'une couche de finition.

Le collage des complexes isolants ne peut se faire que sur des parois verticales planes et propres : béton, parpaings, briques de terre cuite, béton cellulaire. Il n'est pas adapté aux murs irréguliers.
L'épaisseur totale du système, non négligeable, doit être prise en compte. Le collage implique environ 1 cm d'écart par rapport au mur une fois la colle compressée. Si l'on ajoute l'épaisseur de l'isolant, comprise entre 30 et 100 mm et celle de la plaque de plâtre (10 ou 13 mm), on obtient une épaisseur totale comprise entre 50 mm pour le complexe le moins épais, et donc le moins performant, et 120 mm pour les doublages les plus épais.

Des ponts thermiques ponctuels peuvent persister si la mise en œuvre n'est pas soignée au niveau des jonctions entre les plaques, des liaisons avec les menuiseries, des boîtes d'encastrement électriques ou à cause d'un mauvais calfeutrement en partie basse ou haute.
Pour le passage des canalisations des réseaux électriques ou de plomberie, derrière les complexes de doublages, il est possible d'entailler légèrement l'isolant, mais le moins possible pour ne pas amoindrir ses performances.

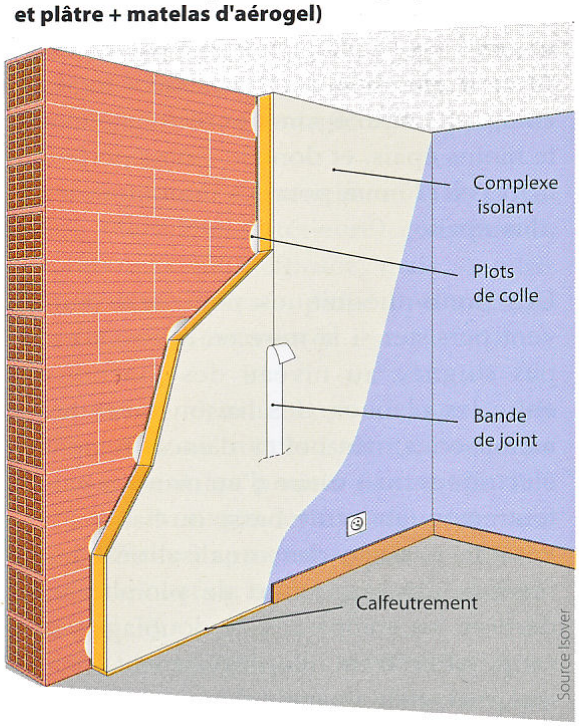
La pose des complexes doit être soignée pour assurer la bonne étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau par convection. Toutefois, cela n'empêche pas la migration de la vapeur par diffusion à travers les matériaux. Même si les complexes sont munis d'un pare-vapeur, la migration s'effectue par les joints entre complexes et aux jonctions avec les parois, ce qui entraîne des risques de condensation interne.
Il existe des complexes isolants dotés de rainures réalisées en usine, entre l'isolant et la plaque de plâtre, pour permettre le passage des canalisations électriques ou de plomberie.

Dans le cas où les murs sont irréguliers ou ne permettent pas le collage, il est possible de fixer les complexes par vissage sur une ossature bois.

Murs en briques creuses (1)

Murs en briques creuses de 20 cm d'épaisseur avec enduit extérieur de 15 mm (R mur = 0,47m².K/W).

Isolation avec complexe de doublage (plâtre + laine minérale et plâtre + matelas d'aérogel)



Complexe avec plaque de plâtre et laine minérale (fixé par collage)

Up : 0,27

Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 2,95 m².K/W
épaisseur isolant= 100 mm

Complexe avec plaque de plâtre et matelas d'aérogel (fixé mécaniquement)

Up : 0,24

R isolant = 3,46 m².K/W
épaisseur isolant = **45 mm**

Up : 0,29

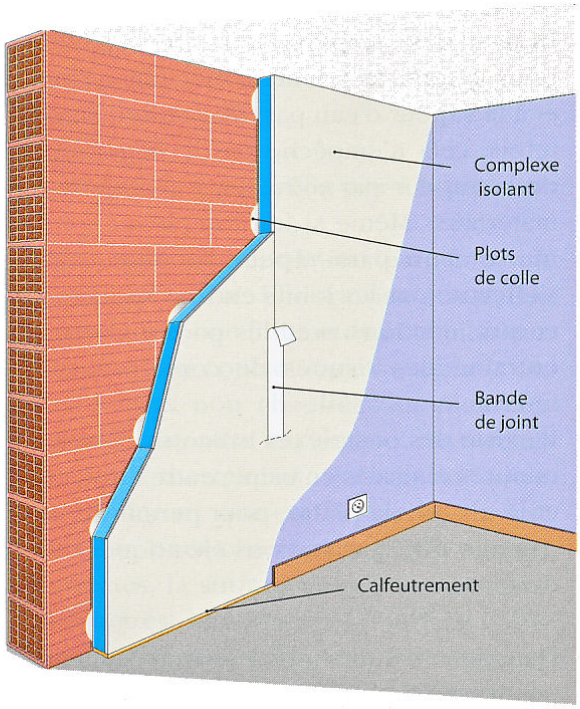
R isolant = 2,77 m².K/W
épaisseur isolant = **36 mm**

Up : 0,36

R isolant = 2,07 m².K/W
épaisseur isolant = **27 mm**

★★★★☆

Isolation avec complexe de doublage (plâtre + polystyrène expansé)



Up : 0,26

Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 3,05 m².K/W
épaisseur isolant (Ultra)= 100 mm

Up : 0,29

Avec complexe (13 + 100 mm) :
R = 2,75 m².K/W
épaisseur isolant (Ultra Pass) = 100 mm

Up : 0,30

Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 2,65 m².K/W
épaisseur isolant (Th 38) = 100 mm

★☆☆☆☆

Excepté pour les complexes thermo-acoustiques en polystyrène expansé plastifié.

Figure 129 : L'isolation avec complexes isolants sur mur en briques

L'isolation avec ossature

Si vos murs sont dégradés, irréguliers, en faux aplombs ou atypiques (grande hauteur), l'isolation avec ossature est une solution. Ce procédé nécessite plus de matériel que le collage. Il est par conséquent plus onéreux et plus délicat à mettre en œuvre. Avant la pose des isolants, il faudra réaliser une ossature métallique (figure 130) composée de lisses basses fixées au sol et de lisses hautes fixées au plafond. Les lisses servent de support aux éléments verticaux, ou fourrures, disposés à intervalles réguliers, soit généralement 0,40 ou 0,60 m, c'est-à-dire des fractions entières de largeur de plaque de plâtre. En fonction de la résistance et de la hauteur de la paroi à isoler, le renforcement de l'armature peut être nécessaire. Prévoyez alors une lisse horizontale sur laquelle seront fixés des appuis réglables à clipser dans les fourrures.

L'isolant est installé avant le montage des fourrures. Pour éviter qu'il ne se tasse, on utilise généralement des panneaux semi-rigides. Si l'isolant est perméable à la vapeur d'eau, il convient d'utiliser un pare-vapeur. Prévoyez à cet effet du ruban adhésif pare-vapeur pour joindre les lés entre eux. En revanche, l'étanchéité n'étant pas assurée aux jonctions avec le sol, le plafond et les parois latérales, il sera impossible de maîtriser le flux de vapeur d'eau par diffusion. Il est préférable d'installer directement sur l'ossature un pare-vapeur rapporté continu, hygrorégulant ou étanche.

La structure pourra recevoir les plaques de plâtre qui seront vissées sur les fourrures. Calculez le nombre de plaques et les espacements pour que les jonctions entre plaques se fassent sur une fourrure.

Les joints entre les plaques se feront également avec une bande de papier et de l'enduit qui doivent être approvisionné en quantité suffisante. Il en va de même pour la réalisation de l'étanchéité à l'air qui est assurée par le colmatage de l'espace entre les plaques de plâtre et le sol.

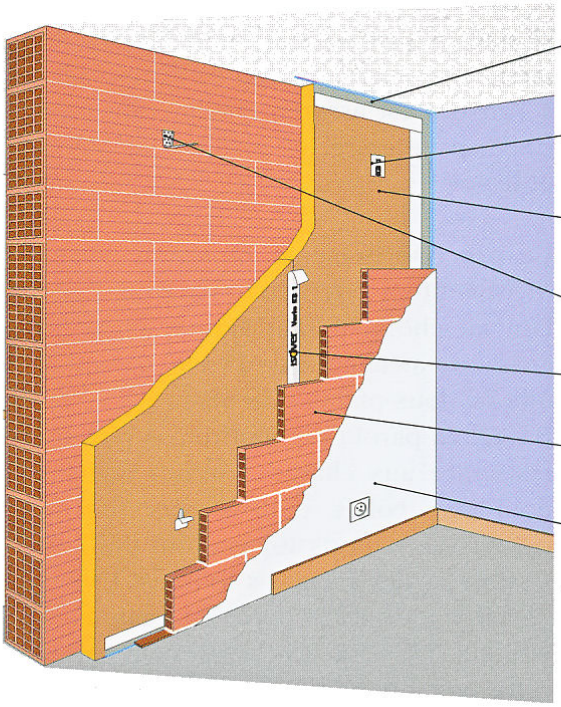
Ce procédé présente plusieurs autres inconvénients. À l'épaisseur de l'isolant au choix, il faut ajouter celle de l'ossature métallique de 18 à 90 mm, plus une ou deux plaques de plâtre BA 10 ou BA 13. La paroi finie n'offre pas plus de résistance aux charges lourdes que les doublages collés, d'où la nécessité de prévoir des renforts aux endroits destinés à recevoir des fixations lourdes. L'inertie thermique de la paroi est également perdue. Il faudra si possible compenser cette perte par des murs de refend ou des cloisons lourdes.
Il n'est pas judicieux d'opter pour des ossatures métalliques très larges entre lesquelles on installe les lés d'isolants, car il y a création de ponts thermiques ponctuels. Pour éviter cela et utiliser l'emprise de l'ossature, il est possible de poser l'isolant en deux couches. Dans ce cas, prévoyez une première couche sans pare-vapeur entre l'ossature et le mur, puis une seconde couche pourvue d'un pare-vapeur, si nécessaire, entre les fourrures ou, mieux, un pare-vapeur rapporté.

Le système de fourrures de 18 mm avec appuis et lisse horizontale est celui qui occupe le moins d'épaisseur. C'est le plus utilisé dans le résidentiel. Il offre l'avantage que l'on peut utiliser n'importe quel type d'isolant semi-rigide ou en panneaux classiques ou écologiques. On peut également choisir l'épaisseur selon

Murs en briques creuses (2)

Murs en briques creuses de 20 cm d'épaisseur avec enduit extérieur de 15 mm (R mur = 0,47m².K/W).

Isolation avec contre-cloison et laine minérale



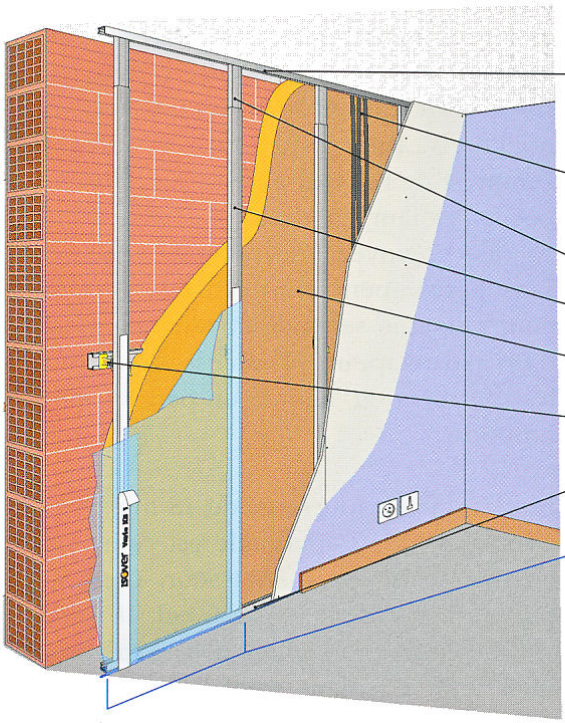
Contre-cloison en briques plâtrières de 40 mm avec enduit plâtre de 10 mm.

Up : 0,26

Avec laine minérale :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur = 100 mm

★★★★★

Isolation avec ossature métallique et plaque de plâtre



Up : 0,25

Avec laine minérale :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur = 130 mm

Up : 0,28

Avec laine minérale :
R = 2,85 m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,29

Avec laine minérale :
R = 2,65 m².K/W
épaisseur = 85 mm

★★★★☆

Figure 130 : L'isolation avec ossature ou contre-cloison sur mur en briques

les performances thermiques et acoustiques souhaitées. La paroi intérieure est finie et prête à recevoir un revêtement. Il existe aussi des plaques de plâtre renforcées, hydrofuges, pré-enduites ou acoustiques.
La distribution des réseaux d'eau et d'électricité est facilitée puisqu'elle peut se faire entre l'isolant et l'ossature. Les performances de l'isolation ne seront alors pas affaiblies. De même, les percements pour les boîtes d'encastrement électriques peuvent être réalisés sans endommager l'isolant.

L'isolation avec contre-cloison

Le principe de l'isolation avec contre-cloison est simple. Il s'agit d'un isolant plaqué contre le mur et masqué par une contre-cloison. L'isolant, semi-rigide ou en panneaux, est fixé mécaniquement ou collé, comme dans le cas des isolants alvéolaires (figure 131).
Si l'isolant est perméable à la vapeur d'eau, il faut prévoir également un pare-vapeur du côté intérieur afin d'éviter tout risque de condensation interne à la paroi. L'étanchéité doit être parfaite entre les isolants et aux jonctions avec les autres parois afin d'éviter les risques de condensation interne.

La contre-cloison, dont l'épaisseur est généralement de 5 cm, peut être réalisée en divers matériaux comme des briques plâtrières, des carreaux de plâtre ou des carreaux de béton cellulaire. Pour la finition de la contre-cloison, vous pouvez envisager un enduit au plâtre dans le cas de briques plâtrières, cependant la mise en œuvre nécessite une certaine dextérité. Vous pouvez aussi opter pour des plaques de plâtre collées, plus faciles à mettre œuvre. Si la contre-cloison est en béton cellulaire, un enduit pelliculaire adapté suffira. Les plaques de plâtre sont également possibles, de plus elles permettront d'améliorer encore les performances thermiques. Si la contre-cloison est en carreaux de plâtre, un enduit de finition sera nécessaire sur les joints avec un ratissage en partie courante pour éliminer les éventuelles traces d'impacts.
L'avantage de cette solution est la création d'une maçonnerie en dur côté intérieur permettant d'apporter de l'inertie thermique. De plus, les charges admissibles pour les fixations sont plus importantes que dans le cas d'une simple plaque de plâtre.

Le choix du type d'isolant et son épaisseur sont libres. L'isolant est protégé par la contre-cloison. Les réseaux électriques ou de plomberie peuvent cheminer entre l'isolant et la contre-cloison. Si elle est suffisamment épaisse et que les normes le permettent, le passage des canalisations peut aussi s'effectuer dans son épaisseur par engravement. L'isolant n'est pas entamé par les canalisations et n'est pas dégradé.

L'étanchéité à l'air est satisfaisante grâce aux propriétés des parois maçonnées.
Le principal inconvénient reste l'épaisseur d'un tel système d'isolation. Outre l'épaisseur de l'isolant choisi, il faut compter une lame d'air de 10 mm, une épaisseur de briques plâtrières de 40 mm et un enduit de 10 mm. De plus, le coût de la mise en œuvre est important.

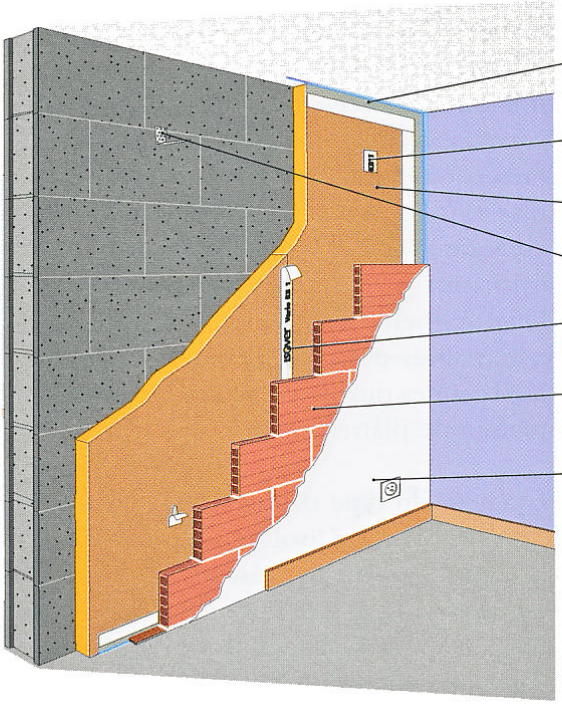
Les performances thermiques de l'isolation par l'intérieur

Pour savoir si le choix d'un procédé d'isolation par l'intérieur correspond à votre projet, ce paragraphe présente les performances thermiques qu'il est possible d'atteindre dans ce cas. Les

Murs en blocs de béton creux (1)

Murs en blocs de béton creux de 20 cm d'épaisseur avec enduit extérieur de 15 mm, lame d'air de 10 mm ($R = 0,23$ m².K/W) et contre-cloison en briques plâtrières de 40 mm avec enduit plâtre de 10 mm.

Isolation avec contre-cloison et laine minérale



Up : 0,27

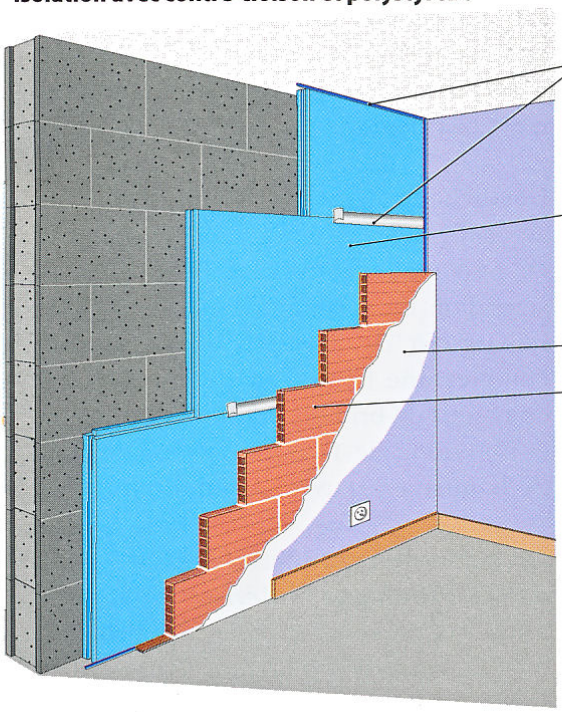
Avec laine minérale :
$R = 3,15$ m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,29

Avec laine minérale :
$R = 2,85$ m².K/W
épaisseur = 100 mm

★★★★★

Isolation avec contre-cloison et polystyrène



Up : 0,29

Avec plaques de polystyrène expansé (Ultra) :
$R = 3,05$ m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,32

Avec plaques de polystyrène expansé (Th 38) :
$R = 2,60$ m².K/W
épaisseur = 100 mm

★☆☆☆☆

Excepté pour le polystyrène expansé plastifié qui présente de meilleures performances acoustiques.

Figure 131 : L'isolation avec contre-cloison d'un mur en blocs de béton creux

procédés courants sont pris en compte, avec des isolants manufacturés et bénéficiant d'une certification ACERMI. Pour obtenir des performances similaires avec un isolant moins conventionnel, il suffit de choisir un produit dont la résistance thermique est équivalente, voire supérieure si vous souhaitez aller au-delà de la solution proposée.
Les valeurs indiquées prennent en compte l'influence des ponts thermiques ponctuels générés par le procédé d'installation lui-même.
Bien qu'attestées par les fabricants, ces valeurs sont indiquées à titre informatif et ne dispensent pas d'effectuer une étude thermique plus précise. En effet, chaque cas est différent et peut varier en fonction de critères particuliers.
Tous les exemples présentés vont généralement au-delà de la valeur de référence préconisée par la réglementation thermique qui exige un coefficient U de 0,36 W/m².K (valeur de référence en zones H1 et H2).

Si vous choisissez des isolants de moindre résistance thermique, pour des raisons d'épaisseur ou de coût, veillez toutefois à ne pas tomber en deçà des exigences réglementaires. N'oubliez pas que moins l'isolation sera performante, plus vous dépenserez d'énergie. Étudiez le retour sur votre investissement : il n'est pas forcément à long terme au vu du prix des combustibles et de l'énergie en général.
Prenons l'exemple d'une construction en briques à alvéoles horizontales de 20 cm de largeur montées en maçonnerie traditionnelle (figures 129 et 130).
La résistance thermique du mur avec un enduit extérieur de 15 mm est de R = 0,47 m².K/W, ce qui correspond à un coefficient U de 1,56 W/m².K environ en tenant compte des résistances superficielles. Si l'on réalise une isolation composée d'un complexe de doublage 10 + 100, soit 10 mm de plaque de plâtre plus 100 mm d'isolant, avec une laine minérale dont la résistance thermique est de 2,95 m².K/W, l'on obtient un coefficient de transmission surfacique U de 0,27 W/m².K.
Des valeurs similaires sont possibles, en ce qui concerne l'isolation thermique, avec des complexes de doublage en plastique alvéolaire. En revanche, les performances acoustiques seront moindres avec ce type d'isolant, sauf s'il s'agit de polystyrène expansé élastifié.
Un isolant de résistance thermique égale à 2,15 m².K/W permet tout juste d'atteindre le niveau de référence qu'exigeait la RT 2005.
Une contre-cloison en briques plâtrières (figure 130) associée à un isolant fibreux de 100 mm d'épaisseur, dont la résistance thermique est égale à 3,15 m².K/W, permet d'atteindre une valeur U de 0,26 W/m².K.

Dans le cas d'une isolation sur ossature métallique, les valeurs obtenues sont sensiblement les mêmes. En optant pour un isolant plus performant et plus épais (130 mm), on peut obtenir un coefficient U de 0,25 W/m².K. En diminuant l'épaisseur de l'isolant à 85 mm, on obtient un coefficient U de 0,29 W/m².K.
Prenons à présent l'exemple d'un mur réalisé avec le système constructif le plus répandu en France, à savoir les blocs de béton de granulats ou parpaings. Sans isolation, on note que la résistance thermique de la paroi est plus faible que celle des briques creuses. En effet, un mur nu de blocs de béton creux de 20 cm présente une résistance thermique R comprise environ entre 0,17 et 0,21 m².K/W.
À la figure 131, l'exemple présenté tient

compte de l'enduit extérieur. La résistance thermique totale du mur non isolé est alors de 0,23 m².K/W. Par conséquent, la performance de départ étant moindre que celle d'un mur en briques, il sera nécessaire d'augmenter l'épaisseur de l'isolant pour parvenir approximativement à un niveau équivalent.
Ces valeurs prennent en compte un vide d'air de 10 mm après l'isolant et une contre-cloison en briques plâtrières plus un enduit de plâtre d'une épaisseur totale de 50 mm.
Avec un isolant fibreux de résistance thermique R = 3,15 m².K/W de 100 mm d'épaisseur, on obtient un coefficient U de 0,27 W/m².K.
Les isolants alvéolaires en polystyrène permettent d'obtenir des valeurs similaires. Cependant, si les résistances thermiques diminuent, il en est de même pour les performances globales.
En deçà d'une résistance thermique R de 2,10 m².K/W, un matériau ne répond plus à la valeur de référence de la RT pour les zones H1 et H2.
Il en est de même pour les systèmes de doublage collé ou d'isolation sous ossature métallique, présentés à la figure 132.

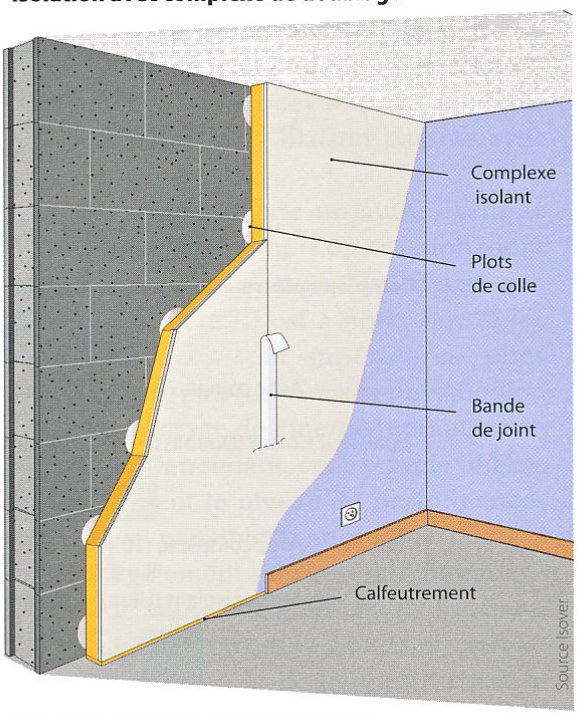
Dans ce cas, que l'on choisisse de la laine minérale ou du polystyrène expansé, il est possible d'obtenir un coefficient U de 0,29 W/m².K, si l'isolant présente une résistance R = 3,00 m².K/W. Pour une même épaisseur d'isolant de 100 mm, on obtient une performance légèrement inférieure à celle de l'exemple d'un mur en briques.
En deçà d'une résistance R = 2,40 m².K/W environ, la valeur de référence de la RT n'est plus atteinte. Il est possible d'obtenir des performances supérieures en augmentant l'épaisseur de l'isolant et donc sa résistance thermique. À la figure 132, dans l'exemple d'isolation avec ossature métallique, le coefficient U indiqué est de 0,22 W/m².K, mais avec une épaisseur de laine minérale de 160 mm. Il paraît évidemment peu envisageable d'installer une telle épaisseur d'isolant à l'intérieur d'une habitation.
Un autre exemple courant est celui d'un mur en béton massif (figure 133) avec isolation par l'intérieur.

On constate que la résistance thermique de la paroi demeure inférieure aux deux exemples précédents puisque le mur en béton, de 16 cm d'épaisseur, avec son enduit extérieur offre une résistance R = 0,08 m².K/W.
Avec un complexe de doublage de 100 mm d'épaisseur et de résistance thermique R = 2,95 m².K/W, comme dans le cas d'une laine minérale, ou R = 3,15 m².K/W, comme pour le cas du polystyrène expansé haut de gamme, on obtient péniblement un coefficient U de 0,29 W/m².K.
Si l'on utilisait un isolant de résistance thermique R inférieure à 2,55 m².K/W, les seuils minimaux de référence de la RT pour les zones H1 et H2 ne seraient pas atteints.

Pour obtenir des performances supérieures, on peut, par exemple, choisir une laine minérale revêtue d'un papier kraft et aluminium sous ossature métallique, comme indiqué dans le second exemple de la figure 133. Ce type d'isolant, pour une épaisseur de 100 mm, permet de porter la résistance thermique R à 3,15 m².K/W et de faire tomber le coefficient U à 0,26 W/m².K.
Tous ces exemples ont pour but de montrer que la nature du mur porteur est importante. Moins il est performant

Murs en blocs de béton creux (2)

Isolation avec complexe de doublage



Murs en blocs de béton creux de 20 cm d'épaisseur avec enduit extérieur de 15 mm (R = 0,23 m².K/W).

Complexe plâtre + laine minérale

Up : 0,29

Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 2,95 m².K/W
épaisseur isolant= 100 mm

★★★☆☆

Complexe plâtre + polystyrène expansé

Up : 0,29

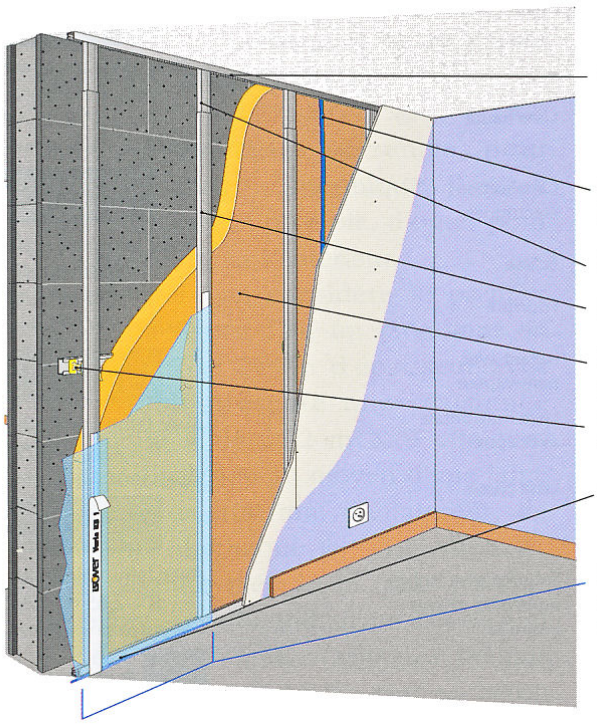
Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 3,05 m².K/W
épaisseur isolant (Ultra)= 100 mm

Up : 0,32

Avec complexe (13 + 100 mm) :
R = 2,75 m².K/W
épaisseur isolant (Ultra Pass)= 100 mm

★☆☆☆☆

Isolation avec ossature métallique et plaque de plâtre



Isolant = laine minérale

Up : 0,22

Avec laine minérale :
R = 5,00 m².K/W
épaisseur = 160 mm

★★★★★

Up : 0,27

Avec laine minérale :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur = 130 mm

Up : 0,30

Avec laine minérale :
R = 2,85 m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,32

Avec laine minérale :
R = 2,65 m².K/W
épaisseur = 85 mm

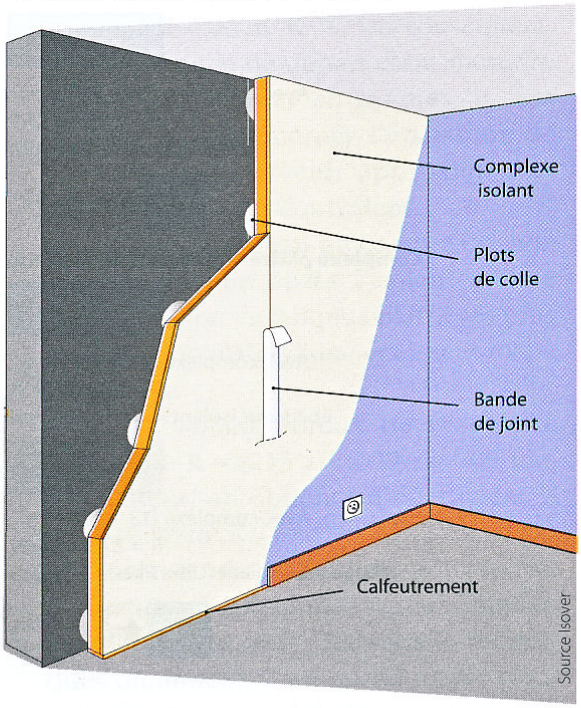
★★★★☆

Figure 132 : L'isolation avec doublage ou ossature métallique d'un mur en parpaings

Murs en béton

Murs en béton de 15 à 16 cm d'épaisseur avec enduit extérieur (R = 0,08 m².K/W).

Isolation avec complexe de doublage



Complexe plâtre + laine minérale

Up : 0,30

Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 2,95 m².K/W
épaisseur isolant= 100 mm

★★★☆☆

Complexe plâtre + polystyrène expansé

Up : 0,29

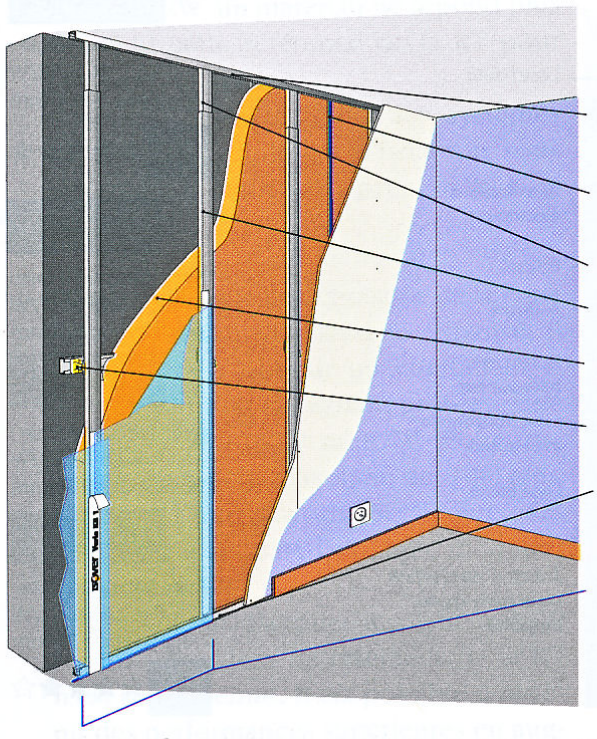
Avec complexe (13 + 100 mm) :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur isolant (Doublissimo®)= 100 mm

Up : 0,30

Avec complexe (10 + 100 mm) :
R = 3,05 m².K/W
épaisseur isolant (Ultra)= 100 mm

★☆☆☆☆

Isolation avec ossature métallique et plaque de plâtre



Isolant = laine minérale

Up : 0,26

Avec laine minérale revêtue kraft alu :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,28

Avec laine minérale revêtue kraft :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,31

Avec laine minérale :
R = 2,85 m².K/W
épaisseur = 100 mm

Up : 0,33

Avec laine minérale :
R = 2,65 m².K/W
épaisseur = 85 mm

★★★★☆

Figure 133 : L'isolation par l'intérieur d'un mur en béton

thermiquement, plus on doit utiliser un isolant efficace donc plus épais. Cela pose un réel problème avec la méthode de l'isolation par l'intérieur. Il est tout simplement inconcevable de parvenir aux niveaux de la maison passive avec un tel principe.
La figure 134 illustre un autre exemple faisant appel à une construction dont les murs porteurs sont plus isolants que précédemment. Il est à noter que si les performances sont supérieures, elles demeurent peu judicieuses puisque l'on perd l'avantage de l'inertie thermique de la paroi. Cependant, cet exemple illustre parfaitement le niveau de performances qu'il est possible d'atteindre. Il est à noter également que l'emploi de monomurs de faible épaisseur, qu'ils soient en terre cuite ou en béton cellulaire, permet de réduire le coût de la construction. Il convient d'évaluer les avantages et les inconvénients par rapport à des éléments plus épais (jusqu'à 50 cm), et plus chers, sachant qu'ils permettent de se passer totalement d'isolation rapportée.

Dans les exemples présentés, pour conserver l'inertie thermique, il serait plus judicieux, si possible, d'opter pour une isolation par l'extérieur.
En effet, si l'on considère le premier cas de la figure 134, un monomur en terre cuite de 20 cm d'épaisseur avec son enduit présente une résistance thermique R de 0,72 m^2.K/W. En renforçant l'isolation au moyen d'une laine minérale de 100 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 3,15 m^2.K/W, avec ossature métallique, plus plaques de plâtre, on obtiendrait un coefficient U de 0,24 W/m^2.K. Dans les mêmes conditions, mais avec un mur en béton cellulaire de 25 cm d'épaisseur, on atteint un coefficient U de 0,17 W/m^2.K, ce qui correspond presque au niveau de la maison passive (0,15 W/m^2.K). On peut même dépasser ce seuil avec des blocs de béton cellulaire de 36,5 cm de largeur ce qui porte le coefficient U à 0,12 m^2.K/W. Les monomurs en terre cuite standard sont légèrement moins performants que les dernières générations de blocs de béton cellulaire. Cependant, les monomurs en terre cuite intégrant un isolant supplémentaire dans leurs alvéoles, les rattrapent, voire les dépassent.

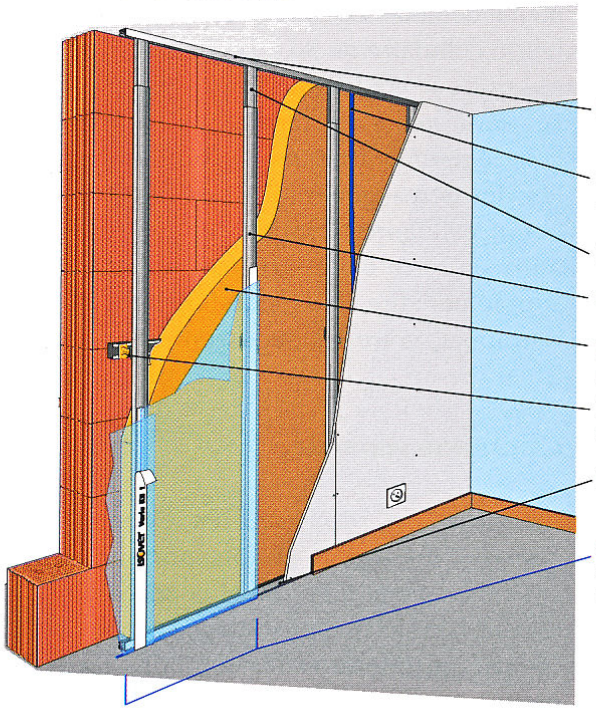
L'isolation répartie

En isolation répartie, les éléments constructifs sont à la fois porteurs et isolants. Comme il n'est plus nécessaire d'avoir recours à une isolation rapportée, la mise en œuvre et les solutions techniques se trouvent simplifiées. Il n'est pas non plus utile, dans de nombreux cas, de traiter les ponts thermiques, à la différence de l'isolation rapportée par l'intérieur. Il en est de même pour ce qui concerne l'inertie thermique. Aucune disposition particulière n'est à prendre pour exploiter au maximum les capacités d'inertie thermique des parois.
Par conséquent, la méthode de l'isolation répartie est un procédé plus proche de la construction que de l'isolation. Les deux étapes ont lieu en même temps.
Le principal point à prendre en compte pour obtenir des performances thermiques satisfaisantes est l'épaisseur du matériau. Si les monomurs peuvent paraître plus chers que les isolants rapportés, il faut veiller à toujours intégrer au prix global celui du matériau de construction, afin de pouvoir faire des comparaisons équilibrées. Il faut également considérer le gain de temps et donc de main-d'œuvre que permet la

Solutions hautes performances énergétiques

Ces solutions très performantes thermiquement suppriment l'inertie et la migration naturelle de la vapeur d'eau.

Avec monomur terre cuite



Up : 0,17

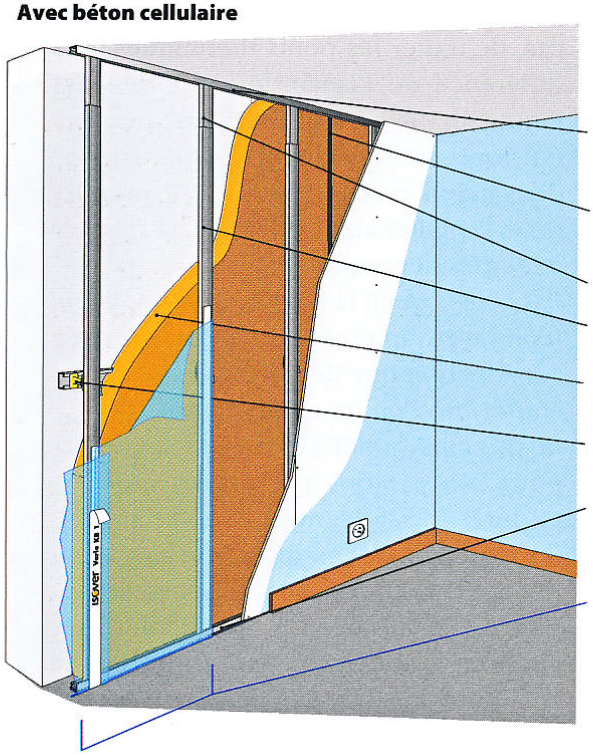
Paroi en briques collées (type Monomur) avec joints verticaux non remplis de 37,5 cm d'épaisseur ($R = 2{,}50$ m².K/W) + une couche de laine minérale : $R = 3{,}15$ m².K/W épaisseur = 100 mm

Up : 0,24

Paroi en briques collées (type Monomur) de 20 cm d'épaisseur ($R = 0{,}72$ m².K/W) + une couche de laine minérale : $R = 3{,}15$ m².K/W épaisseur = 100 mm

★★★★★

Avec béton cellulaire



Up : 0,14

Paroi en blocs de béton cellulaire de 36,5 cm d'épaisseur ($R = 3{,}63$ m².K/W) + une couche de laine minérale : $R = 3{,}15$ m².K/W épaisseur = 100 mm

Up : 0,17

Paroi en blocs de béton cellulaire de 25 cm d'épaisseur ($R = 2{,}50$ m².K/W) + une couche de laine minérale : $R = 3{,}15$ m².K/W épaisseur = 100 mm

★★★★★

Figure 134 : L'isolation à hautes performances énergétiques

construction en monomurs, notamment grâce à la technique de la maçonnerie roulée, bien plus rapide que les traditionnels parpaings montés au mortier de ciment.
La maçonnerie roulée ou à joints minces n'est pas compliquée. L'autoconstructeur peut la pratiquer avec un minimum de formation et de documentation. Malgré cela, encore peu de professionnels y ont recours.
Les monomurs les plus courants sont en terre cuite ou en béton cellulaire (figure 135). Au sein d'une même famille de produits, il existe des variantes et des modèles différents.

Les éléments en terre cuite standard, à alvéoles verticales, utilisent la multiplication des cavités d'air pour améliorer les performances du matériau de base. Le montage nécessite simplement une fine couche de mortier-colle entre chaque rang, ce qui réduit la quantité globale de mortier-colle à prévoir. Cependant, dans certains cas, notamment en zones sismiques, il est nécessaire de remplir les joints verticaux. Rappelons que les performances thermiques seront légèrement amoindries. Il est également possible de monter les monomurs de terre cuite avec un mortier bâtard de ciment, selon la méthode de maçonnerie classique.

Attention, dans ce cas également, les performances thermiques seront diminuées mais de manière plus significative. D'un point de vue thermique et écologique, cette solution est un non sens puisque le bénéfice et le surcoût du matériau sont rendus partiellement inutiles du fait du mode de montage et du maillage de ponts thermiques qu'il génère. Méfiez-vous si l'on vous propose une telle option dans votre projet de construction. L'étanchéité à l'air est assurée par les enduits intérieur et extérieur. La migration de la vapeur d'eau s'opère naturellement.

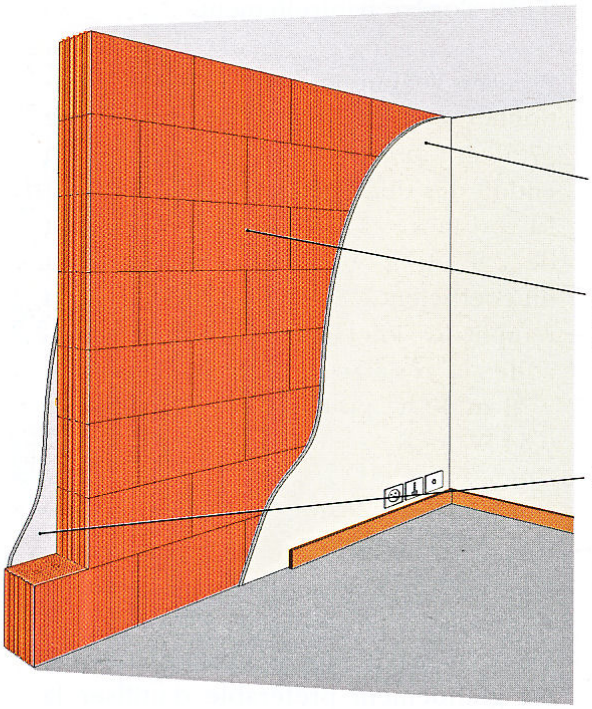
Prenons l'exemple d'un monomur traditionnel en terre cuite d'une largeur de 37,5 cm monté à joints minces, avec un enduit des deux côtés.
La résistance thermique du mur fini est de 2,87 $m^2.K/W$, ce qui correspond à un coefficient U de 0,33 $W/m^2.K$. Si l'on remplit les joints verticaux de mortier-colle, la résistance thermique passe à 2,78 $m^2.K/W$, pour un coefficient U de 0,34 $W/m^2.K$.

Si le montage est effectué avec du mortier bâtard, le coefficient U de la paroi passe à 0,39 $W/m^2.K$ avec les joints verticaux non remplis et à 0,40 $W/m^2.K$ avec les joints verticaux remplis. On constate qu'il est grandement préférable d'utiliser la technique de pose à joints minces. Les performances sont meilleures que la valeur de référence exigée par la réglementation thermique. On dispose d'un mur solide, de son inertie et d'une bonne étanchéité à l'air, grâce à la forme des rainures et languettes latérales et grâce aux enduits intérieurs et extérieurs.
Un monomur de 30 cm permet juste d'atteindre la valeur de référence de la RT. Naturellement, les éléments présentant les meilleures performances sont ceux de 50 cm de largeur. Leur coefficient U est de 0,26 $W/m^2.K$. Leur forte inertie améliore sensiblement le confort d'été.
Des monomurs encore plus performants, intégrant des isolants dans leurs alvéoles verticales, permettent d'atteindre des valeurs supérieures (figure 136). Ainsi, un mur composé de tels blocs de 30 cm d'épaisseur, avec ses enduits extérieur et intérieur, dépasse le coefficient U d'un monomur traditionnel de 50 cm

Isolation répartie (1/2)

Données pour maçonnerie collée à joints verticaux non remplis

Avec éléments monomur à alvéoles verticales



Up : 0,26

Avec brique de 50 cm de largeur

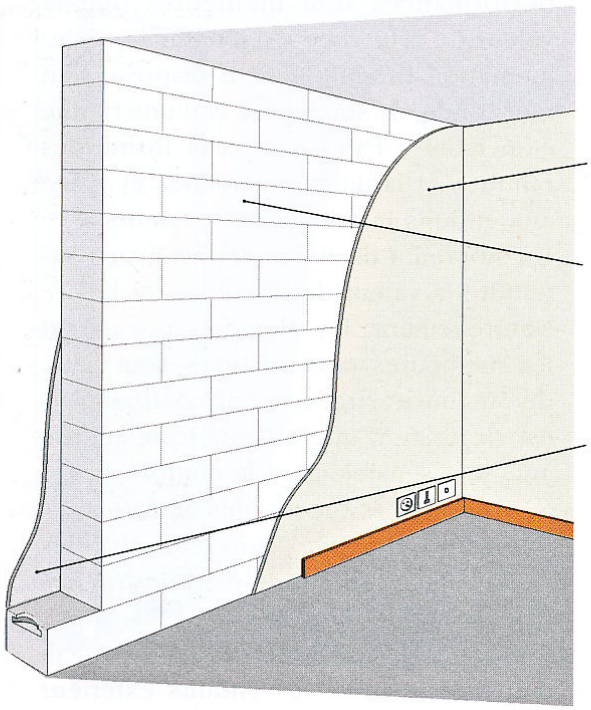
Up : 0,33

Avec brique de 37,5 cm de largeur

Up : 0,37

Avec brique de 30 cm de largeur

Avec béton cellulaire



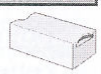
Up : 0,20

Avec bloc de 50 cm de largeur et BA 13 intérieur (Up = 0,21 avec enduit pelliculaire intérieur)

Up : 0,26

Avec bloc de 36,5 cm de largeur et BA 13 intérieur (Up = 0,28 avec enduit pelliculaire intérieur)

Up : 0,31



Avec bloc de 30 cm de largeur et BA 13 intérieur (Up = 0,33 avec enduit pelliculaire intérieur)

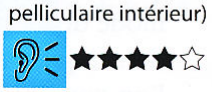
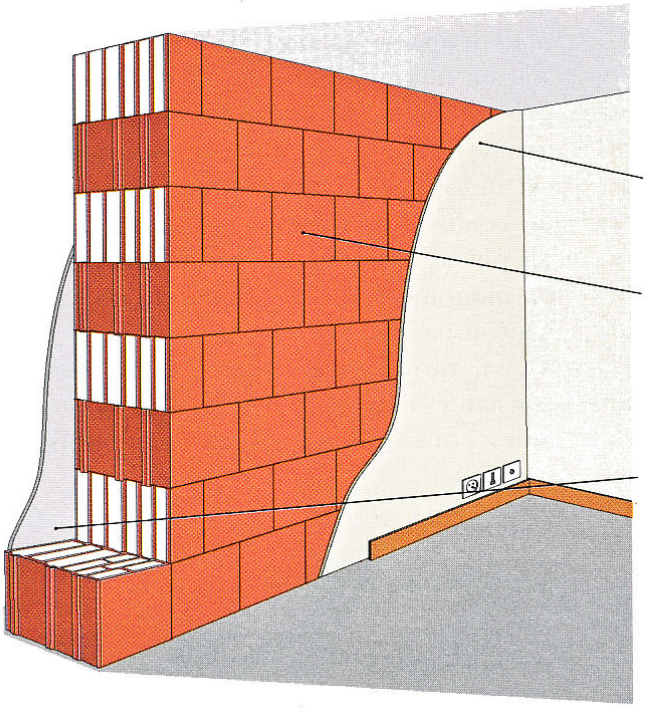


Figure 135 : L'isolation répartie avec monomurs traditionnels

Isolation répartie (2/2)

Avec éléments monomur à alvéoles verticales isolées



Données pour maçonnerie collée à joints verticaux non remplis, alvéoles isolées à la perlite ou à la laine minérale. Enduit extérieur de 20 mm et enduit intérieur de 15 mm.

Up : 0,14

Avec brique de 49 cm de largeur

Up : 0,18

Avec brique de 42,5 cm de largeur

Up : 0,21

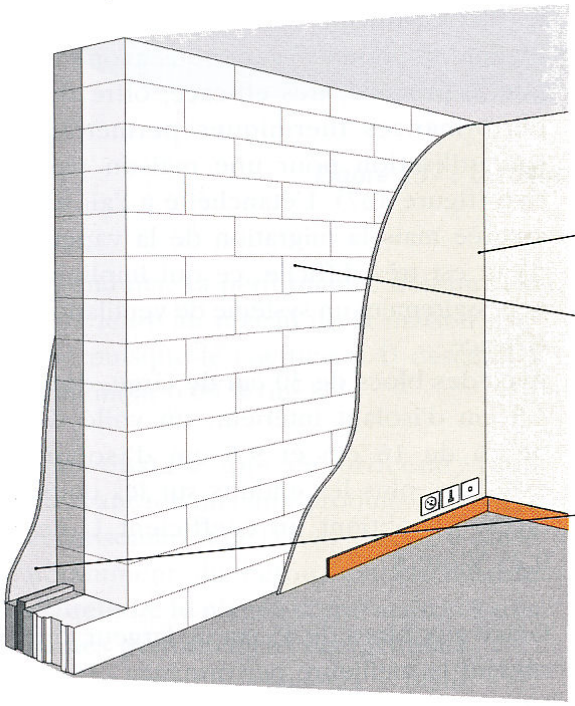
Avec brique de 36,5 cm de largeur

Up : 0,25

Avec brique de 30 cm de largeur

★★★★☆

Avec complexe béton cellulaire/silico-calcaire



Données pour maçonnerie collée à joints verticaux non remplis, enduit intérieur et extérieur.

Up : 0,119

Avec bloc de 50 cm de largeur (20 + 30)

Up : 0,15

Avec bloc de 40 cm de largeur (20 + 20)

Up : 0,17

Avec bloc de 36,5 cm de largeur (20 + 16,5)

★★★★☆

Figure 136 : L'isolation répartie en monomurs hautes performances

de largeur, soit un coefficient U de 0,25 W/m².K seulement. Les mêmes blocs en 50 cm de largeur offrent l'excellente performance de 0,18 W/m².K.

Si l'on considère à présent les monomurs en béton cellulaire les plus performants actuellement disponibles (coefficient lambda = 0,10 W/m.K), les résultats sont encore meilleurs. La pose s'effectue toujours à joints minces, au moyen d'un mortier-colle spécifique. Les valeurs qui suivent sont données pour des joints verticaux non remplis. En effet, comme pour la brique, les joints verticaux des monomurs en béton cellulaire doivent être encollés dans les constructions parasismiques.

Avec des blocs de 30 cm de largeur, enduits de chaque côté, on obtient un coefficient U de 0,33 W/m².K, ce qui permet de dépasser les valeurs de référence de la RT. Si l'on remplace l'enduit pelliculaire intérieur par une plaque de plâtre collée avec du mortier adhésif, les performances se trouvent légèrement améliorées (U = 0,31 W/m².K). Avec des éléments de 36,5 cm de largeur, on atteint un coefficient U de 0,26 W/m².K. Avec les plus larges blocs disponibles, soit 50 cm, on obtient un coefficient U de 0,20 W/m².K. Ces deux dernières valeurs prennent en compte une plaque de plâtre côté intérieur.

Comme pour les éléments de terre cuite haute performance, ces niveaux peuvent encore être améliorés. Grâce aux blocs en béton cellulaire et silico-calcaire, les résultats augmentent. Ainsi on peut obtenir un coefficient U de 0,17 W/m².K avec des parois de 36,5 cm d'épaisseur dont les joints verticaux ne sont pas remplis et les enduits intérieur et extérieur réalisés.

Avec des éléments de 40 cm d'épaisseur (pour moitié en béton cellulaire et pour moitié en silico-calcaire thermique), on obtient un coefficient U de 0,15 W/m².K, soit un niveau compatible avec les exigences d'une maison passive. La plus grande largeur pour ces blocs constructifs est de 50 cm. Ils permettent d'obtenir un coefficient U de 0,119 W/m².K, soit un niveau excellent et un record pour un monomur, qui va au-delà du niveau maison passive.
Au vu de ces performances, on peut constater encore une fois que les monomurs constituent un excellent choix constructif.

Les blocs de coffrage isolants

Les blocs de coffrage isolants sont un procédé original distinct des isolations rapportée ou répartie, tout en mêlant les deux principes. Bien que peu écologique, à première vue, nous avons vu que le procédé, très efficace, offre des performances thermiques permettant son utilisation pour une maison passive (figure 137). L'étanchéité à l'air est assurée mais la migration de la vapeur d'eau est très difficile, ce qui implique nécessairement un système de ventilation efficace.
Avec des blocs de 30 cm de large, dont 4,5 cm d'isolant intérieur, un voile de béton de 16 cm et 9,5 cm d'isolant extérieur, plus les enduits sur les deux faces, on obtient un coefficient U de 0,23 W/m².K.

Grâce aux blocs de 45 cm de largeur, on obtient la meilleure performance possible pour ce système, comprenant 4,5 cm d'isolant intérieur, un voile de béton de 16 cm et 24,5 cm d'isolant extérieur, plus

Blocs de coffrage isolants

Avec blocs de coffrage isolants en polystyrène

Données avec mur en béton de 16 cm et enduits intérieurs et extérieurs.

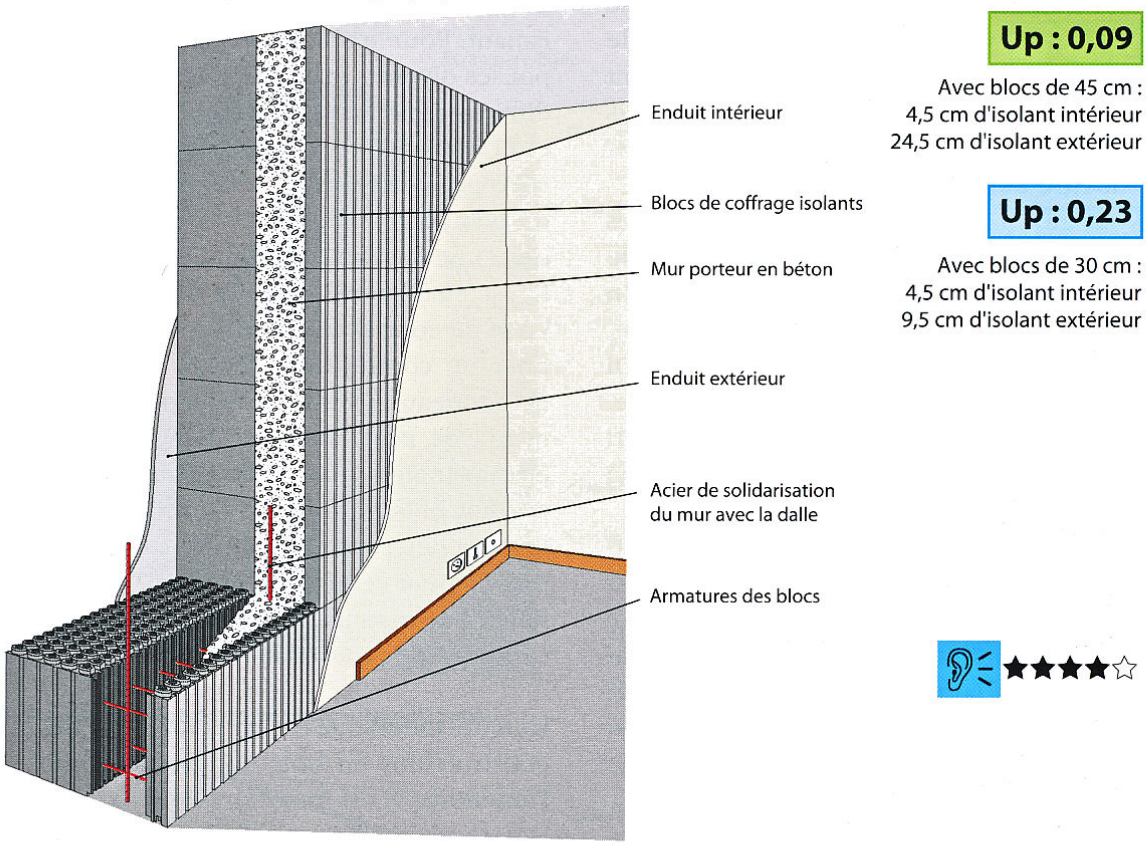


Figure 137 : Les blocs de coffrage isolants

les enduits. La performance obtenue est supérieure au niveau de la maison passive puisque le coefficient U descend à seulement 0,09 W/m².K !

On constate que ce procédé, bien qu'ayant recours aux produits pétroliers et consommant de l'énergie grise, à cause notamment du béton, est en mesure d'atteindre le niveau d'une maison à très hautes performances énergétiques.
Le montage des éléments à blanc s'effectuera avec minutie pour ne pas les endommager. La mise en œuvre du béton à la bonne consistance sera faite avec soin pour assurer une bonne répartition dans tous les espaces entre les deux couches d'isolant.

L'isolation des constructions à ossature bois

Dans ce cas, la structure de la construction est une ossature bois. Rappelons que son rôle est uniquement porteur. Elle est composée d'un tramage régulier de pièces de bois verticales et horizontales en partie basse, haute et en encadrement. L'entraxe entre les montants est compris

entre 0,40 et 0,60 m. Les éléments sont en bois massif, ils ont une section de 36 à 46 mm d'épaisseur et de 97 à 150 mm de large. Sur cette ossature est fixé un voile de contreventement ou travaillant, dont la fonction est de reprendre les efforts horizontaux dus au vent et de les transmettre aux ouvrages de soubassement.
Le travail d'isolation aura lieu dans les cavités situées entre les éléments de structure. Il faudra les remplir au moyen d'un isolant (figure 138). Côté intérieur, prévoyez un pare ou freine-vapeur. Il doit être continu et parfaitement étanche. Notez que les isolants avec papier kraft ne sont pas autorisés en construction bois.
Le revêtement peut être fixé sur un lattage horizontal qui crée une lame d'air et autorise le passage des réseaux. Le revêtement intérieur se compose généralement de lambris, de panneaux décoratifs en bois ou de plaques de plâtre pour une meilleure protection au feu.

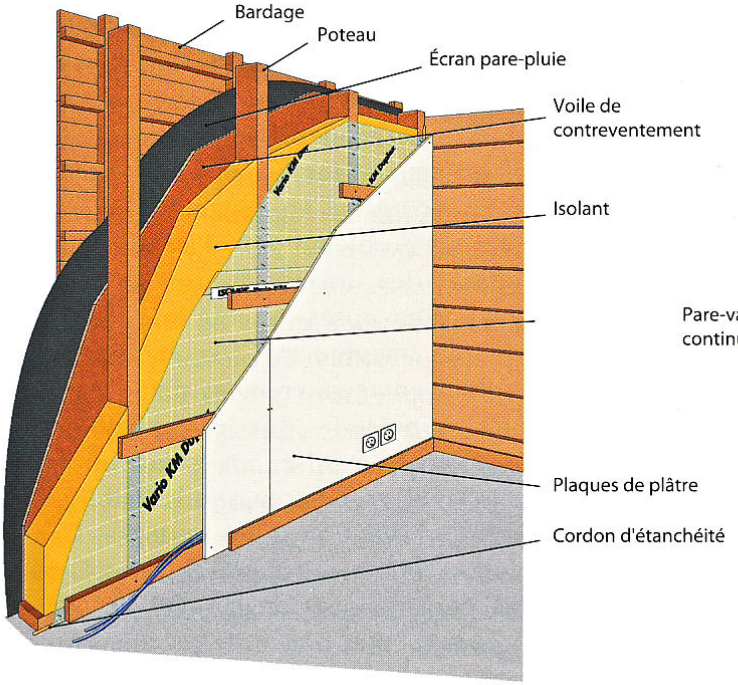
Côté extérieur, prévoyez un écran pare-pluie qui doit être étanche à l'eau liquide, mais perméable à la vapeur d'eau (perspirant). Le revêtement extérieur devra assurer la protection mécanique et protéger le mur des intempéries. Il sera fixé sur un lattage dont le but est de ménager une lame d'air. Le choix est vaste pour le revêtement. Il peut consister en un bardage bois, un bardage minéral ou métallique, des éléments de terre cuite ou un enduit minéral sur support bois.
Pour obtenir de bonnes performances thermiques, il est nécessaire de prévoir les conditions de mise en œuvre. Dans les structures les plus simples, l'isolant sera installé entre les montants verticaux. L'épaisseur d'isolant sera donc limitée à celle des montants. Cette méthode créera des ponts thermiques ponctuels au niveau de chaque montant puisque les performances d'isolation thermique du bois sont inférieures à celles d'un isolant. Pour améliorer l'isolation, anticipez les diverses solutions possibles. Pour diminuer les ponts thermiques ponctuels et obtenir les performances souhaitées, vous pouvez poser une seconde couche d'isolant côté intérieur, par exemple derrière une ossature métallique.
Il est également possible d'agir sur le voile de contreventement. Souvent composé de contreplaqué CTBX de 8 mm, de panneaux OSB de 10 mm ou de panneaux de particules de 12 mm, il peut être avantageusement remplacé par un produit plus performant thermiquement comme des panneaux de fibres de bois prévus pour cet usage. Il peut s'agir également de plaques à base de gypse et de cellulose de type Fermacell.

L'inertie thermique est un point faible des constructions en bois non massif. Pour l'améliorer, il est important de choisir un isolant adapté qui assurera cette fonction, comme les laines et panneaux de fibres de bois, la cellulose, etc.
Prévoyez le matériel en quantité suffisante pour traiter l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau, qui doit être soignée. Choisissez de préférence un pare-vapeur hygrorégulant. La continuité du pare-vapeur doit être assurée au droit de tous les raccords horizontaux et verticaux, au moyen de ruban adhésif et de mastic d'étanchéité.
Il en va de même pour l'isolation acoustique qui se doit d'être étudiée sérieusement pour obtenir de bonnes performances.
La paroi jouant un faible rôle d'isolation, c'est principalement l'épaisseur de l'isolant qui assurera les performances thermiques du mur.

Isolation des ossatures bois

D'après Isover

Performances répondant à la Réglementation Thermique



Structure poteaux poutres entraxe de 60 cm, pare-vapeur hygrorégulant, contre lattes et bardage de 15 mm.

Avec poteaux bois 45 x 150 mm

Up : 0,26

Avec laine minérale :
R = 4,25 m².K/W
épaisseur = 150 mm

Avec poteaux bois 45 x 140 mm

Up : 0,27

Pare-vapeur indépendant continu hygrorégulant

Avec laine minérale spéciale MOB :
R = 4,00 m².K/W
épaisseur = 140 mm

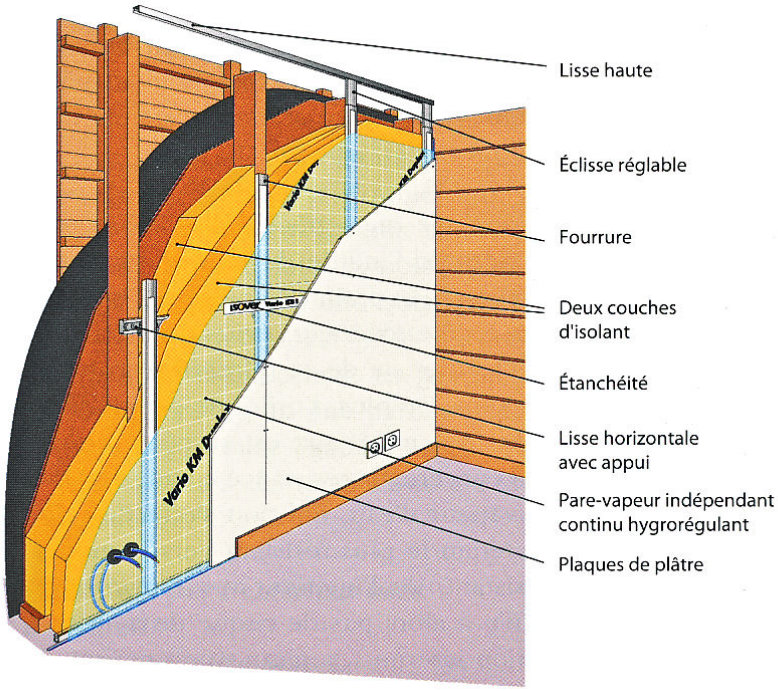
Avec poteaux bois 45 x 120 mm

Up : 0,30

Avec laine minérale spéciale MOB :
R = 3,15 m².K/W
épaisseur = 120 mm

★★★☆☆

Solution hautes performances énergétiques



Deux couches de laine minérale avec structure métallique

Up : 0,19

Avec première couche de laine minérale :
R = 3,45 m².K/W
épaisseur = 120 mm

+

Seconde couche de laine minérale :
R = 1,85 m².K/W
épaisseur = 60 mm

★★★★☆

Figure 138 : L'isolation des ossatures bois

Pour une ossature disposant d'une seule couche d'isolant entre montants de 45 x 120 mm, en laine minérale, d'une résistance thermique R de 3,15 m².K/W, on obtient un coefficient U paroi de 0,30 W/m².K.
Dans le cas d'une ossature de 45 x 140 mm, l'épaisseur de l'isolant augmentant, et pour une résistance thermique R de 4,00 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,27 W/m².K. Avec une laine minérale de 150 mm d'épaisseur, de résistance thermique R égale à 4,25 m².K/W, le coefficient U passe à 0,26 W/m².K.
La solution en double couche est à privilégier. Elle permet d'augmenter significativement les performances. En utilisant une ossature en montants de 45 x 120 mm, remplie d'une laine minérale de résistance thermique R = 3,45 m².K/W et d'une épaisseur de 120 mm, puis une seconde couche de 60 mm avec une résistance thermique R = 3,45 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,19 W/m².K.

L'isolation par l'extérieur (ITE)

Le principe de l'isolation par l'extérieur ou ITE (isolation thermique extérieure) consiste à fixer l'isolant sur le côté extérieur du mur. Il peut servir de support pour la finition ou de remplissage derrière une ossature, qui elle-même supportera la finition. Comme on ne diminue plus les surfaces intérieures, la latitude est plus grande pour la mise en œuvre et dans le choix des isolants, même épais. Cette solution est intéressante à étudier tout particulièrement dans le cadre d'un projet de rénovation, notamment lorsqu'il est problématique d'intervenir dans une habitation finie et décorée. L'un des inconvénients à considérer est la modification de l'aspect extérieur de la construction, ce qui implique une demande d'autorisation. Les points qui poseront le plus de difficulté et nécessiteront un soin tout particulier, sont les tableaux des ouvertures. En rénovation, s'il est relativement simple de choisir des isolants de forte épaisseur pour les parois opaques, en revanche cela va poser un problème pour l'isolation des tableaux des ouvertures, surtout si les châssis sont posés du côté intérieur du mur. On imagine mal dix centimètres d'isolant en recouvrement d'une partie de la menuiserie. Sur les tableaux, il conviendra de poser un isolant moins épais, avec en contrepartie l'affaiblissement de l'isolation à ces endroits. Une solution consisterait à utiliser des isolants plus performants, idéalement des PIV. En construction neuve, le problème est évité en posant les menuiseries du côté extérieur du mur et en prenant soin de garder le bâti en contact avec l'isolant.
Prévoyez un parement extérieur de qualité, car il sera nécessairement plus fragile que celui d'un mur maçonné traditionnel.

Rappelons que, grâce à l'isolation par l'extérieur, l'inertie du mur existant est conservée et optimisée puisque l'isolant, placé côté extérieur, évitera au mur de s'échauffer ou de se refroidir trop rapidement. De plus, l'ordre de positionnement des matériaux est respecté en ce qui concerne la résistance au transfert de la vapeur d'eau, qui doit s'effectuer du matériau le plus résistant vers le moins résistant, de l'intérieur vers l'extérieur. Il n'y a alors pas de risque de condensation interne à la paroi. C'est pourquoi le pare-vapeur n'est pas nécessaire pour les isolants fibreux.
Il en est de même avec les isolants

plastiques alvéolaires. En revanche, il ne doit pas exister de lame d'air entre le mur et l'isolant.
Pour réaliser une isolation par l'extérieur, plusieurs solutions sont possibles, selon le matériau du mur à isoler, maçonnerie traditionnelle ou bois, et l'aspect extérieur souhaité. Vous pouvez choisir un habillage par bardages traditionnels en bois ou dérivés, en lames ou en panneaux composites, en matières minérales, en terre cuite ou autres. Il est également tout à fait possible de réaliser un enduit mince ou un enduit hydraulique traditionnel, si vous préférez ce style de finition. Naturellement, le procédé de mise en œuvre n'est pas le même dans chaque cas. Le choix est vaste et libre, puisque les performances thermiques dépendent principalement de l'isolant et dans une moindre mesure de la paroi existante. Dans le cas d'une finition enduite, l'apport en isolation est faible, quant aux bardages, ils n'ont aucune incidence, à cause de la lame d'air ventilée qui les sépare de l'isolant.

Un autre procédé d'isolation par l'extérieur est possible : le double mur. Il est, en de nombreux points similaire aux précédentes solutions, puisque son principe s'apparente à une isolation par l'extérieur. L'isolant est posé du côté extérieur du mur porteur. Le parement extérieur consiste en une paroi lourde, mais non porteuse, généralement en briques pleines de terre cuite ou de silicocalcaire.

L'isolation par l'extérieur avec un enduit

Avec ce procédé d'isolation, l'isolant thermique est fixé directement sur la paroi extérieure du bâtiment (figure 139), par collage au mortier-colle ou par fixation mécanique, ou les deux. Pour le collage, un profilé de base est fixé mécaniquement sur la façade. Il est destiné à accueillir les panneaux du premier rang tout en évitant leur glissement. Pour la fixation mécanique, on a recours à des chevilles de fixation à large tête pour un bon maintien de l'isolant. Les modèles en matière plastique sont préférables afin de limiter les ponts thermiques ponctuels. Un enduit d'accrochage sera réalisé sur l'isolant dans lequel sera installé un treillis d'armature en fibres de verre. Il servira lui-même de support à une couche de fond pour égaliser la surface. L'enduit de finition pourra alors être réalisé.
Naturellement, l'isolant doit être adapté à la pose extérieure et être hydrophobe. Les matériaux courants sont le polystyrène expansé, les laines de roche compressées, les panneaux de fibres de bois, les panneaux sandwich de fibragglos, etc.

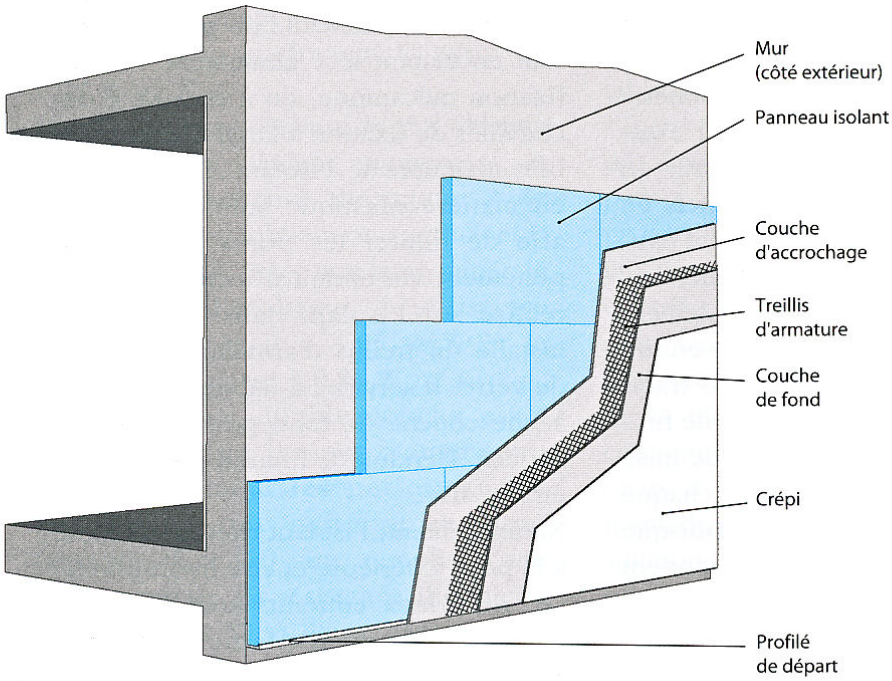
Le principal reproche fait à ce procédé d'isolation est sa fragilité aux chocs. Celle-ci, toute relative en pratique, dépend du type d'isolant utilisé et de l'emplacement de la construction. Si le polystyrène expansé peut être susceptible de se déformer sous un choc, il n'en est pas de même avec les panneaux de fibres de bois ou de fibragglos. Une construction qui n'a pas de façade sur la voie publique présente peu de risques. Il suffit de prendre quelques dispositions de protection dans les angles ou les points de passage.

Les performances thermiques sont intéressantes comme le montrent les exemples suivants.
Une paroi en béton banché de 15 cm avec enduit intérieur présente une

Isolation par l'extérieur - Support d'enduit (1/2)

Mur en béton banché de 15 cm d'épaisseur présentant une résistance thermique R = 0,08 m².K/W et enduit intérieur.

Avec panneaux isolants collés



Up : 0,20

Avec panneaux de fibres de bois en deux couches (fixation mécanique) :
Première couche
R = 1,43 m².K/W
épaisseur = 60 mm
Seconde couche
R = 3,18 m².K/W
épaisseur 140 mm

Up : 0,26

Avec panneaux de laine de roche compressée pour extérieur (fixation mécanique) :
R = 3,61 m².K/W
épaisseur = 130 mm

Up : 0,27

Avec plaques sandwich de polystyrène + Fibralith :
R = 3,38 m².K/W
épaisseur = 125 mm

Up : 0,33

Avec plaques de polystyrène (PSE) :
R = 2,80 m².K/W
épaisseur = 110 mm

Variable selon les isolants

Avec panneaux isolants fixés mécaniquement

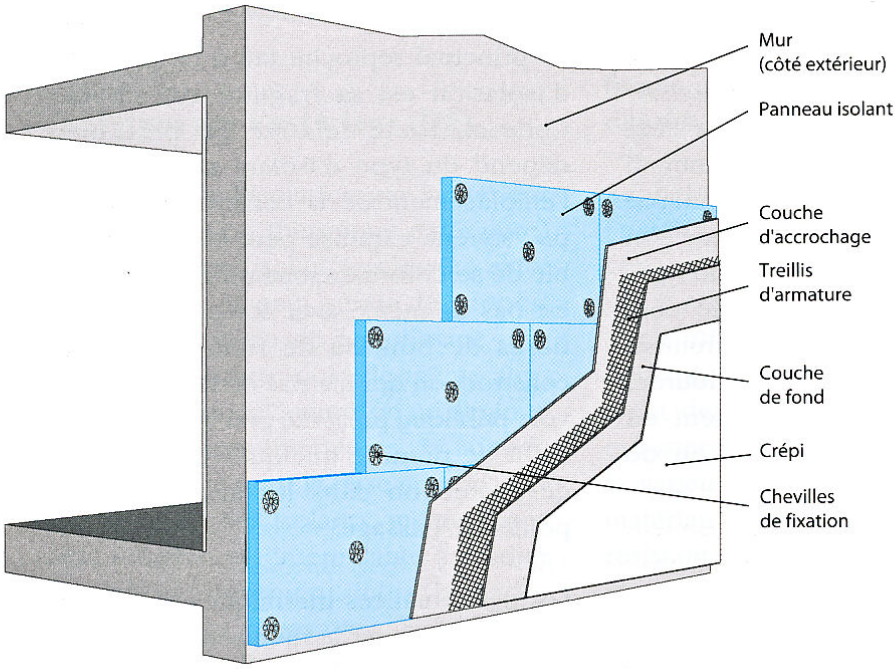


Figure 139 : L'isolation par l'extérieur d'un mur en béton

résistance thermique R de 0,08 m².K/W environ. Avec des panneaux de PSE de 110 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 2,80 m².K/W, on obtient un coefficient U paroi de 0,33 W/m².K. On peut améliorer ce coefficient avec des isolants plus épais. Avec des panneaux sandwich de fibragglos et polystyrène d'une épaisseur de 125 mm et une résistance thermique R de 3,38 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,27 W/m².K. Ce chiffre passe à 0,26 W/m².K avec des panneaux de laine de roche compressée pour extérieur d'une épaisseur de 130 mm et une résistance thermique R de 3,61 m².K/W. En augmentant fortement l'épaisseur des isolants traditionnels, on peut obtenir des performances très intéressantes. Ainsi, avec 200 mm d'isolant et cette fois deux couches de panneaux de fibres de bois (voir figure 139), il est possible d'atteindre un coefficient U de 0,20 W/m².K.

Les murs composés de petits éléments constructifs comme les blocs creux de béton ou les briques creuses, offrent une résistance thermique supérieure à celle d'un mur en béton banché. Cependant, la majeure partie des gains en isolation ne peut s'obtenir qu'avec des épaisseurs conséquentes d'isolant. Les briques creuses offrent des performances meilleures que les blocs de béton. Dès lors que les éléments sont pourvus d'alvéoles verticales, les résultats sont nettement améliorés. Dans une largeur de 20 cm, ces briques offrent une résistance thermique de 0,78 m².K/W. Dans une épaisseur de 25 cm, la résistance thermique passe à 1,02 m².K/W. En comparaison, une brique de construction traditionnelle à alvéoles horizontales de 20 cm de largeur ne dépasse pas 0,47 m².K/W en résistance thermique.

Si l'on ajoute à la maçonnerie des plaques de polystyrène de 110 mm d'épaisseur, dont la résistance R est égale à 2,80 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,29 W/m².K si le mur est en briques de 20 cm (figure 140). Si le mur est en blocs de béton, le coefficient U est de 0,31 W/m².K.

Avec 130 mm de laine de roche compressée, on peut atteindre un coefficient U de 0,23 W/m².K pour un mur en briques et 0,25 W/m².K pour un mur en blocs de béton.
Avec 200 mm d'isolant et deux couches de panneaux de fibres de bois, le coefficient U passe à 0,19 W/m².K pour un mur en briques et à 0,20 W/m².K avec un mur en blocs de béton.

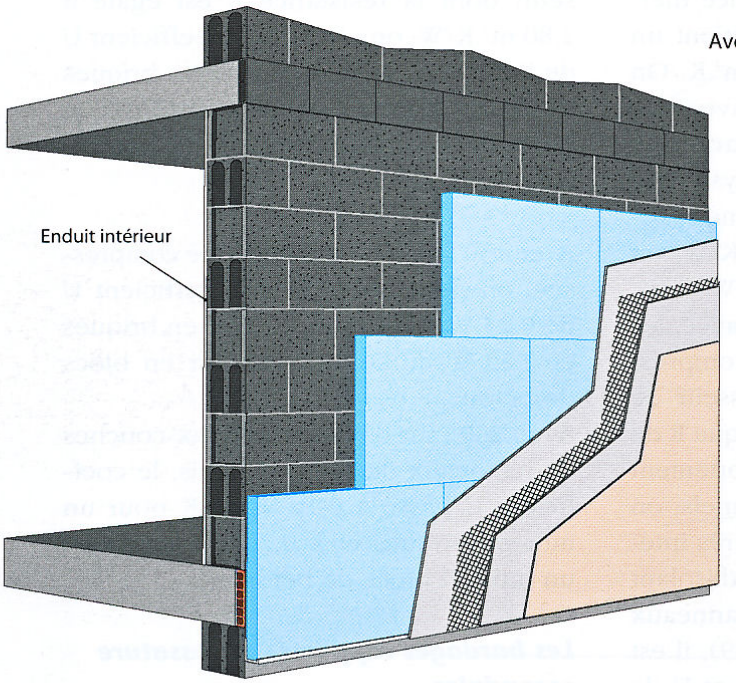
Les bardages rapportés sur ossature secondaire

Un bardage rapporté est un système de revêtement extérieur des parois verticales composé d'une peau ou habillage extérieur et d'une ossature faisant office de support. Dans la largeur de l'espace créé par l'ossature, il est possible d'incorporer un isolant. Ce procédé peut être utilisé aussi bien en construction neuve qu'en réhabilitation. La multiplicité des habillages extérieurs permet de disposer d'un vaste choix de matières et de couleurs. Cependant, comme l'aspect extérieur se trouve modifié, il y a lieu de se renseigner sur la possibilité d'adopter cette solution en particulier dans les secteurs sauvegardés ou protégés.

On peut classer les bardages rapportés en deux catégories principales selon qu'ils sont traditionnels ou non. La mise en œuvre des premiers est définie par la norme (DTU), tandis que les seconds doivent faire l'objet d'un Avis Technique

Isolation par l'extérieur - support d'enduit (2/2)

Performances avec un mur en blocs de béton



Mur en blocs de béton creux de 20 cm d'épaisseur avec enduit intérieur présentant une résistance thermique R = 0,23 m².K/W + enduit extérieur.

Up : 0,20

Avec panneaux de fibres de bois en deux couches :
Première couche R = 1,43 m².K/W
épaisseur = 60 mm
Seconde couche R = 3,18 m².K/W
épaisseur 140 mm

Up : 0,25

Avec panneaux de laine de roche compressée pour extérieur :
R = 3,61 m².K/W
épaisseur = 130 mm

Up : 0,26

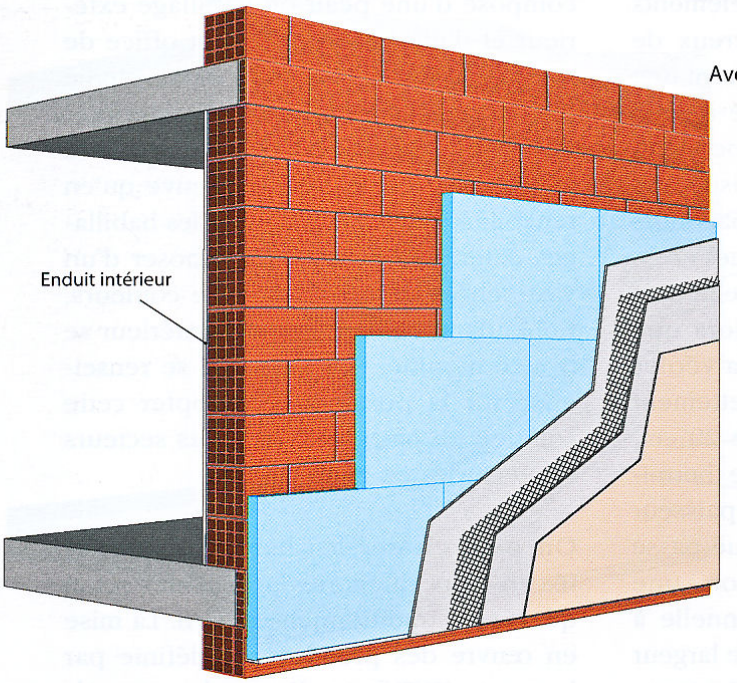
Avec plaques sandwich de polystyrène + Fibralith : R = 3,38 m².K/W
épaisseur = 125 mm

Up : 0,31

Avec plaques de polystyrène (PSE) :
R = 2,80 m².K/W
épaisseur = 110 mm

Variable selon les isolants

Performances avec un mur en briques creuses



Mur en briques creuses à alvéoles horizontales de 20 cm d'épaisseur avec enduit intérieur, présentant une résistance thermique R = 0,47 m².K/W + enduit extérieur.

Up : 0,19

Avec panneaux de fibres de bois en deux couches :
Première couche R = 1,43 m².K/W
épaisseur = 60 mm
Seconde couche R = 3,18 m².K/W
épaisseur 140 mm

Up : 0,23

Avec panneaux de laine de roche compressée pour extérieur :
R = 3,61 m².K/W
épaisseur = 130 mm

Up : 0,25

Avec plaques sandwich de polystyrène + Fibralith : R = 3,38 m².K/W
épaisseur = 125 mm

Up : 0,29

Avec plaques de polystyrène (PSE) :
R = 2,80 m².K/W
épaisseur = 110 mm

Figure 140 : L'isolation par l'extérieur d'un mur en petits éléments

précisant les conditions de mise en œuvre.
On considère généralement comme bardages traditionnels les systèmes à ossature bois dont la peau est composée de petits éléments (terre cuite, ardoise, bois, béton...) et d'un système de fixation traditionnel. Il en est de même pour tous les bardages en bois : lames de bois massif horizontales, verticales ou obliques, posées par recouvrement, par emboîtement ou à claire-voie, ainsi que les bardeaux et les panneaux de dérivés du bois, les bardages en éléments de feuilles métalliques et les bardages en carreaux de céramique maintenus par des agrafes en acier inoxydable.

Les bardages non traditionnels sont mis en œuvre sur une ossature en bois ou métallique avec des systèmes de fixation spécifiques adaptés aux éléments de peau. Ceux-ci peuvent être en céramique, en terre cuite, en pierre naturelle, en composite ciment verre, en stratifié, en mortier de résine...

L'ossature en bois traditionnelle se compose de chevrons, généralement en épicéa ou en pin sylvestre traité contre l'humidité et les insectes. S'ils supportent seuls la peau extérieure, il s'agit d'un réseau simple. Si les chevrons sont recouverts de liteaux ou de lisses destinés à recevoir les éléments de bardage, la méthode est dite à double réseau. Une lame d'air est nécessaire entre la peau extérieure et l'isolant pour permettre l'évacuation de la vapeur d'eau provenant de l'intérieur et pour garantir l'aération des pièces de bois. Il ne faut pas oublier de prévoir l'occlusion de la partie inférieure du bardage, au moyen d'une grille métallique, afin de couper le passage aux rongeurs.

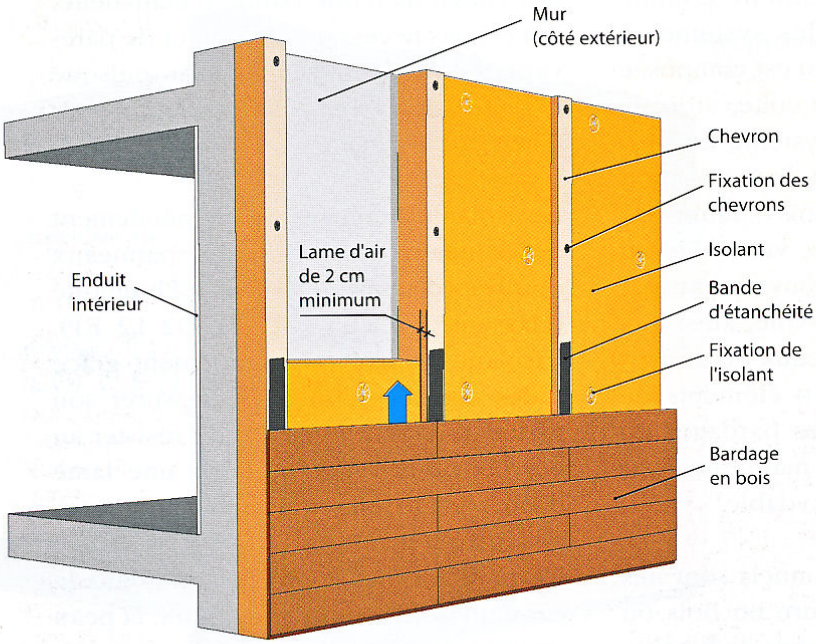
Selon le type de peau, il faudra éventuellement recouvrir la face extérieure des chevrons d'une bande d'étanchéité. Il n'est pas nécessaire d'installer de pare-vapeur entre le mur et l'isolant, puisque le cycle naturel d'évacuation de la vapeur d'eau est respecté.

Les isolants employés sont généralement des laines minérales ou des panneaux de fibres de bois, résistants à l'humidité (classement ISOLE : I1 S1 O2 L2 E1). L'isolant est fixé mécaniquement grâce à des chevilles étoile pour assurer son maintien dans le temps, pour résister au vent et pour éviter de créer une lame d'air avec le mur qui amoindrirait ses performances.
L'isolant est mieux protégé que dans le cas d'un isolant support d'enduit, la peau assurant la protection mécanique.
Les chevrons sont fixés verticalement sur le mur selon deux méthodes : par fixation directe dans le mur ou par l'intermédiaire de pattes équerres (figures 141 et 142).

La fixation directe est la mise en œuvre la plus facile, cependant elle provoque des ponts thermiques ponctuels à l'emplacement des chevrons. L'isolant est posé en une seule couche entre les chevrons et fixé mécaniquement. Sur un mur en éléments de terre cuite de 17,5 cm d'épaisseur, on peut obtenir un coefficient U de 0,30 W/m².K avec une laine minérale de 120 mm d'épaisseur, d'une résistance thermique R = 3,63 m².K/W. On peut atteindre une valeur U de 0,20 W/m².K avec une laine minérale de 200 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 6,06 m².K/W.
Il est possible de passer l'isolant sous les chevrons en utilisant des pattes équerres pour leur fixation. Les ponts thermiques

Bardage rapporté sur ossature secondaire en bois (1/3)

Isolant en 1 couche entre chevrons



Mur en briques de terre cuite d'une épaisseur de 17,5 cm

Up : 0,20

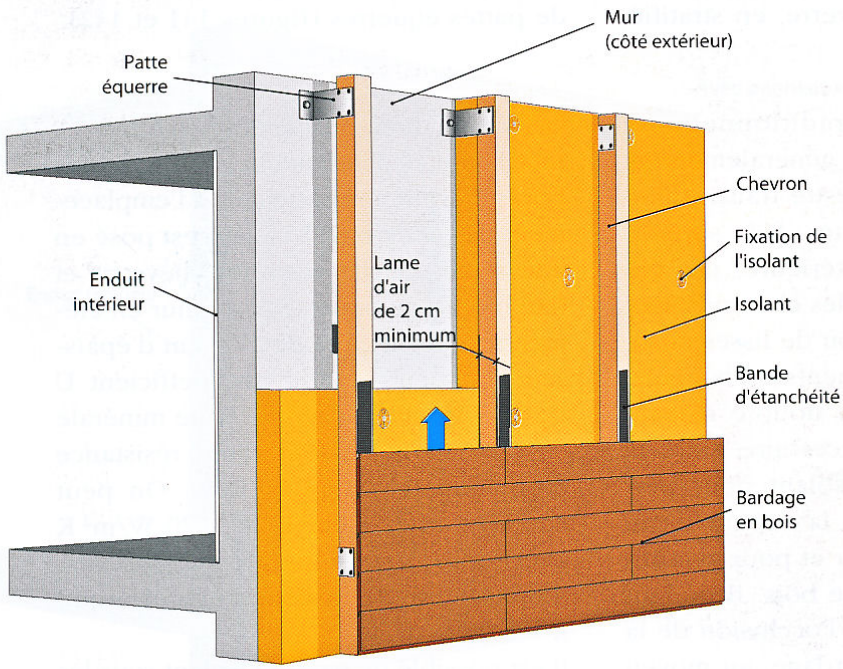
Avec laine minérale :
R = 6,06 m².K/W
épaisseur = 200 mm

Up : 0,30

Avec laine minérale :
R = 3,63 m².K/W
épaisseur = 120 mm

★★★★☆

Isolant en 1 couche sous chevrons



Mur en briques de terre cuite d'une épaisseur de 17,5 cm

Up : 0,17

Avec laine minérale :
R = 5,88 m².K/W
épaisseur = 200 mm

Mur en béton d'une épaisseur de 20 cm

Up : 0,19

Avec laine minérale :
R = 5,88 m².K/W
épaisseur = 200 mm

Up : 0,34

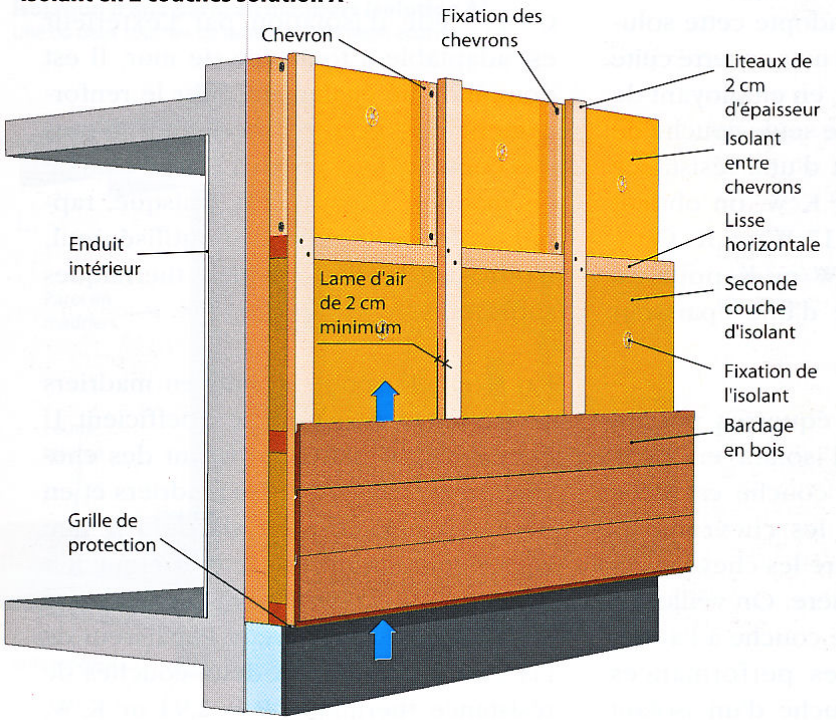
Avec laine minérale :
R = 2,94 m².K/W
épaisseur = 100 mm

★★★★☆

Figure 141 : Le bardage rapporté sur ossature en bois avec isolant monocouche

Bardage rapporté sur ossature secondaire en bois (2/3)

Isolant en 2 couches solution A



Mur en briques de terre cuite de 17,5 cm d'épaisseur.

Up : 0,17

Avec une couche de laine minérale : R = 3,00 m².K/W épaisseur = 100 mm

+

une couche de laine minérale : R = 3,00 m².K/W épaisseur = 100 mm

Up : 0,20

Avec une couche de laine minérale : R = 2,50 m².K/W épaisseur = 80 mm

+

une couche de laine minérale : R = 2,50 m².K/W épaisseur = 80 mm

Up : 0,30

Avec une couche de laine minérale : R = 1,56 m².K/W épaisseur = 50 mm

+

une couche de laine minérale : R = 1,56 m².K/W épaisseur = 50 mm

★★★★☆

Isolant en 2 couches solution B

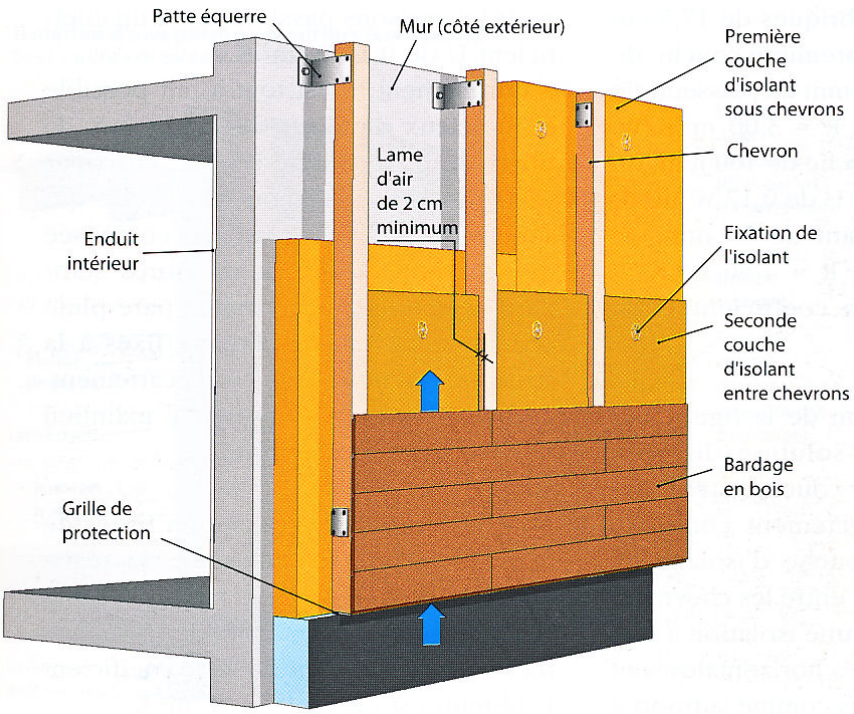


Figure 142 : Le bardage rapporté sur ossature en bois avec isolant en deux couches

ponctuels persisteront uniquement au niveau des fixations métalliques.
Pour exemple, si l'on adopte cette solution d'isolation pour un mur en terre cuite de 17,5 cm d'épaisseur, en employant de la laine minérale en une seule couche de 200 mm d'épaisseur et d'une résistance thermique R = 5,88 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,17 W/m².K. Cette valeur passe à 0,19 W/m².K pour un mur en béton banché d'une épaisseur de 20 cm.

L'ossature sur pattes équerres permet également de poser l'isolant en deux couches. La première couche est fixée mécaniquement sous les chevrons, la seconde est placée entre les chevrons et fixée de la même manière. On veillera à décaler les joints d'une couche à l'autre. On obtient les mêmes performances qu'avec une seule couche d'un isolant aux performances similaires. Par exemple, pour un mur en briques de 17,5 cm de largeur, avec une première couche de laine minérale de 100 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 3,00 m².K/W, plus une seconde couche de 100 mm, on obtient un coefficient U de 0,17 W/m².K. Deux couches d'isolant de 50 mm, de résistance thermique R = 1,56 m².K/W ne dépassent pas un coefficient U de 0,30 W/m².K.

La seconde illustration de la figure 142 présente une autre solution de pose de l'isolant en deux couches avec des chevrons posés directement contre le mur. La première couche d'isolant est fixée mécaniquement entre les chevrons, comme dans le cas d'une isolation à une seule couche. Les lisses horizontales sont fixées sur les chevrons comme support à la seconde couche d'isolant. Des liteaux fixés verticalement sur les lisses horizontales permettront de réaliser une lame d'air et serviront de support à la peau.
Ce procédé d'isolation par l'extérieur est adaptable à tout type de mur. Il est donc indiqué également pour le renforcement des performances thermiques des constructions en bois massif comme les madriers (figure 143), puisque, rappelons-le, le bois massif, utilisé seul, n'offre pas des performances thermiques suffisantes.

Par exemple, pour un mur en madriers de 12 cm d'épaisseur, le coefficient U est de 0,97 W/m².K. En fixant des chevrons directement sur les madriers et en posant une laine minérale de 100 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 2,94 m².K/W, le coefficient U est abaissé à 0,27 W/m².K. En portant l'épaisseur de l'isolant à 200 mm en deux couches de résistance thermique R = 2,94 m².K/W, on atteint pratiquement le niveau requis pour les maisons passives, avec un coefficient U de 0,16 W/m².K.
Naturellement, il est tout à fait possible et judicieux d'utiliser des panneaux de fibres de bois comme isolant. Prévoyez une pose en deux couches. Celle qui sera située vers l'extérieur sera composée d'un complexe isolant en fibres standard avec une couche traitée pare-pluie et maintenue par des liteaux fixés à la structure, au moyen de vis d'écartement. Le but des vis est d'assurer le maintien de l'isolant sans l'écraser.

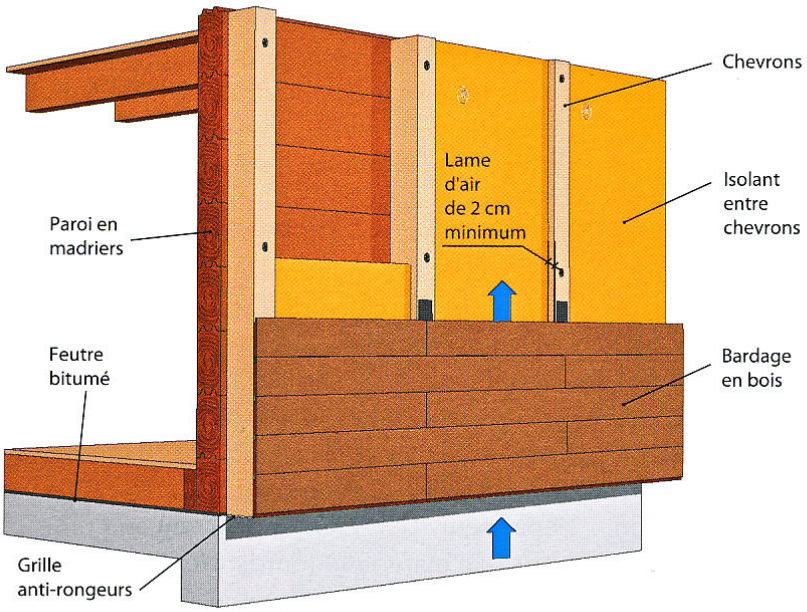
Avec une première couche en fibres de bois de 80 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 1,90 m².K/W et une seconde couche de 60 mm, de résistance thermique R = 1,90 m².K/W, le coefficient U obtenu est égal à 0,23 W/m².K.
Avec une épaisseur totale de 180 mm d'isolant répartie en une couche de

Bardage rapporté sur ossature secondaire en bois (3/3)

Mur en madriers de 12 cm d'épaisseur présentant un coefficient de transmission thermique avant isolation U = 0,97 W/ m².K.

Isolation d'une paroi en madriers (solution A)

Une ou deux couches de laine minérale selon épaisseur.



Up : 0,16

Avec deux couches de laine de roche :
R = 2,94 m².K/W (par couche)
épaisseur = 2 x 100 mm

Up : 0,23

Avec une couche de laine de verre :
R = 3,75 m².K/W
épaisseur = 120 mm

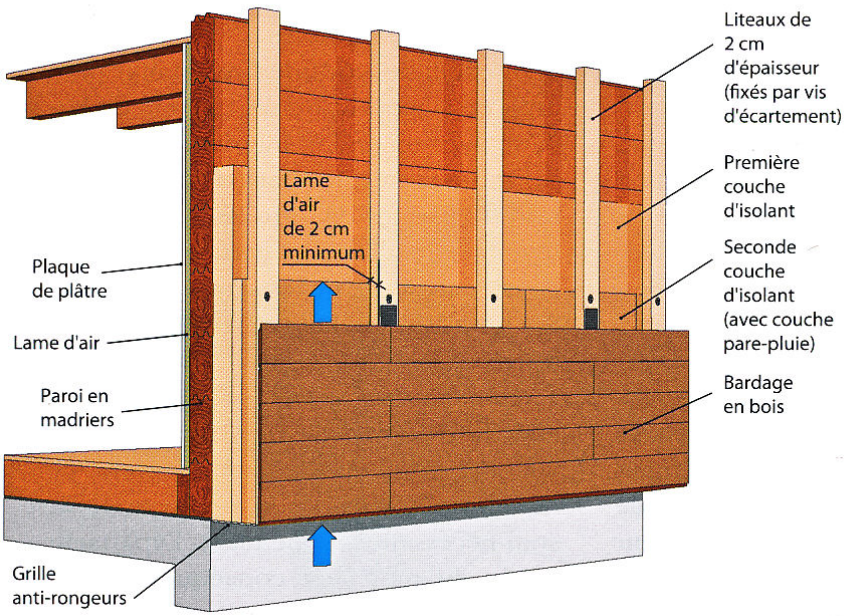
Up : 0,27

Avec une couche de laine de roche :
R = 2,94 m².K/W
épaisseur = 100 mm

★★★★☆

Isolation d'une paroi en madriers (solution B)

Deux couches de panneaux de fibres de bois.



Up : 0,19

Avec une couche de panneaux de fibre de bois :
R = 2,38 m².K/W
épaisseur = 100 mm

+

Une couche de panneaux de fibres de bois :
R = 1,86 m².K/W
épaisseur = 80 mm

Up : 0,23

Avec une couche de panneaux de fibre de bois :
R = 1,90 m².K/W
épaisseur = 80 mm

+

Une couche de panneaux de fibres de bois :
R = 1,40 m².K/W
épaisseur = 60 mm

★★★★☆

Figure 143 : Le bardage rapporté sur ossature bois sur paroi en madriers

100 mm et une couche de 80 mm, le coefficient U de la paroi descend à 0,19 W/m².K.

Le double mur

Le principe du double mur (figure 144) consiste à placer un isolant entre deux parois maçonnées dont l'une, située côté intérieur, est porteuse et l'autre, située côté extérieur assure les fonctions décorative et protectrice. C'est un procédé d'ITE.

L'espace interstitiel entre les murs où sera placé l'isolant s'appelle la coulisse. Ce procédé constructif ne respecte pas le transfert naturel de la vapeur d'eau puisque, de l'intérieur vers l'extérieur, elle doit passer à travers un matériau faiblement perméable, puis à travers un matériau très perméable, l'isolant fibreux, et de nouveau à travers un matériau peu perméable, la paroi extérieure. En hiver, il y a donc apparition de condensation au contact de la paroi extérieure. Cette condensation restera néanmoins faible, puisqu'une partie traversera le mur de parement et l'autre s'écoulera le long de la paroi. Pour l'évacuer, des orifices devront être réalisés en bas de mur, c'est-à-dire des joints verticaux de briques non remplis. Il faut également prévoir une membrane d'étanchéité en bas des murs et des linteaux pour canaliser la condensation vers l'extérieur. De même, l'isolant utilisé doit être non hydrophile.

Si le mur de parement est très peu perméable à la vapeur d'eau, très exposé aux intempéries ou recouvert d'un enduit étanche, il y a lieu de prévoir un vide d'air entre l'isolant et le côté intérieur du mur de parement. Ce vide permettra l'évacuation de l'eau de condensation.

La paroi porteuse peut être construite avec divers matériaux. L'isolant choisi est souvent une laine minérale. Le mur de parement se compose généralement de briques pleines de terre cuite ou de silicocalcaire. Pour solidariser le mur extérieur avec le mur porteur prévoyez des systèmes d'ancrage qui seront noyés dans les joints des deux parois. Ils sont spécialement munis d'une rondelle servant au maintien de l'isolant.

Ce principe constructif offre l'avantage d'assurer la protection optimale de l'isolant thermique. De plus, le mur de parement ne nécessite que peu d'entretien.

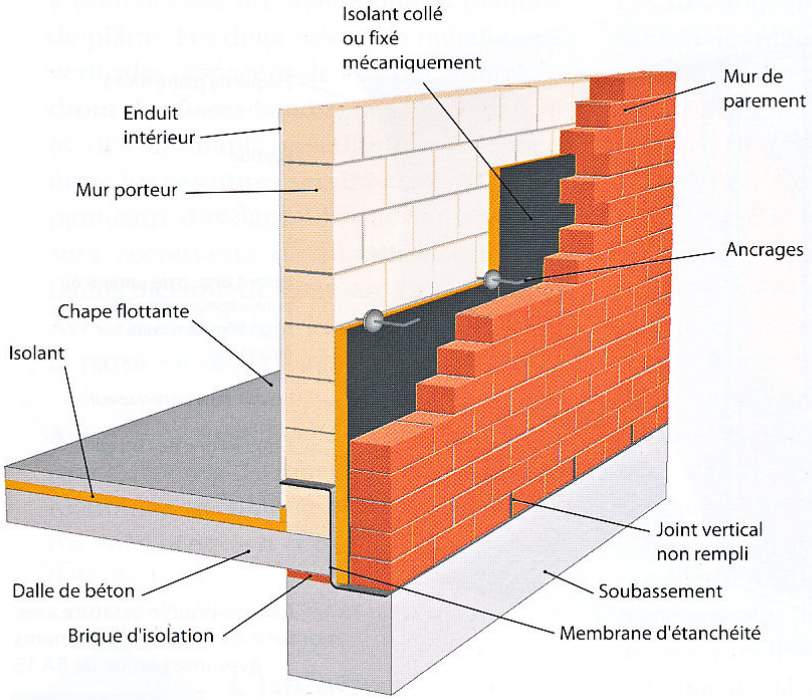
Les performances thermiques dépendent en grande partie de l'épaisseur et des performances de l'isolant thermique. Le mur porteur peut être, en effet, de faible épaisseur, au minimum 150 mm, et composé de matériaux lourds. Néanmoins, il est tout à fait possible et avantageux de choisir un matériau plus performant thermiquement pour augmenter les performances de l'ensemble de la paroi, comme des blocs silicocalcaires thermiques ou des blocs de béton cellulaire.

Pour exemple, considérons un mur intérieur en silicocalcaire de 150 mm de largeur, avec un enduit intérieur et un mur de parement de 125 mm d'épaisseur en briques pleines de terre cuite. Si la coulisse est complètement garnie de 120 mm de laine minérale de résistance thermique R = 3,60 m².k/W, le coefficient U obtenu est de 0,24 W/m².K. Pour atteindre des valeurs compatibles avec le niveau de la maison passive (soit U = 0,15 W/m².K), 200 mm d'isolant en laine minérale, de résistance thermique R = 6,06 m².K/W, sont nécessaires. Cependant, l'épaisseur totale du mur sera conséquente, soit 475 mm.

La présence d'une lame d'air dans la coulisse n'améliore pas les performan-

Double mur

Mur double sans lame d'air



Mur porteur en briques silico-calcaires
de 150 mm d'épaisseur.
Mur de parement en briques
de 125 mm d'épaisseur avec crépi.

Up : 0,15

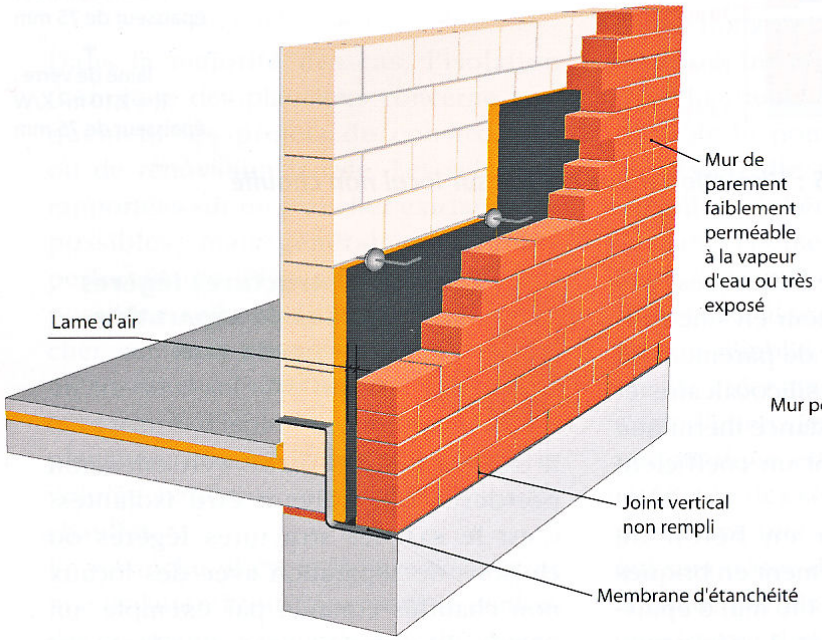
Avec une couche
de laine de verre :
R = 6,06 m².K/W
épaisseur = 200 mm

Up : 0,24

Avec une couche
de laine de verre :
R = 3,60 m².K/W
épaisseur = 120 mm

★★★★★

Mur double avec lame d'air



Mur porteur en briques silico-calcaires
de 150 mm d'épaisseur.
Mur de parement en briques silico-calcaires
de 120 mm d'épaisseur.

Up : 0,18

Avec une couche
de laine de verre :
R = 5 m².K/W
épaisseur = 160 mm

Up : 0,27

Avec une couche
de laine de verre :
R = 5 m².K/W
épaisseur = 100 mm

Mur porteur en béton de 200 mm d'épaisseur.
Mur de parement en briques
de terre cuite de 140 mm d'épaisseur.

Up : 0,17

Avec une couche
de laine de verre :
R = 5 m².K/W
épaisseur = 160 mm

Figure 144 : Le principe du double mur

Isolation d'une cloison sur local non chauffé (Source Isover)

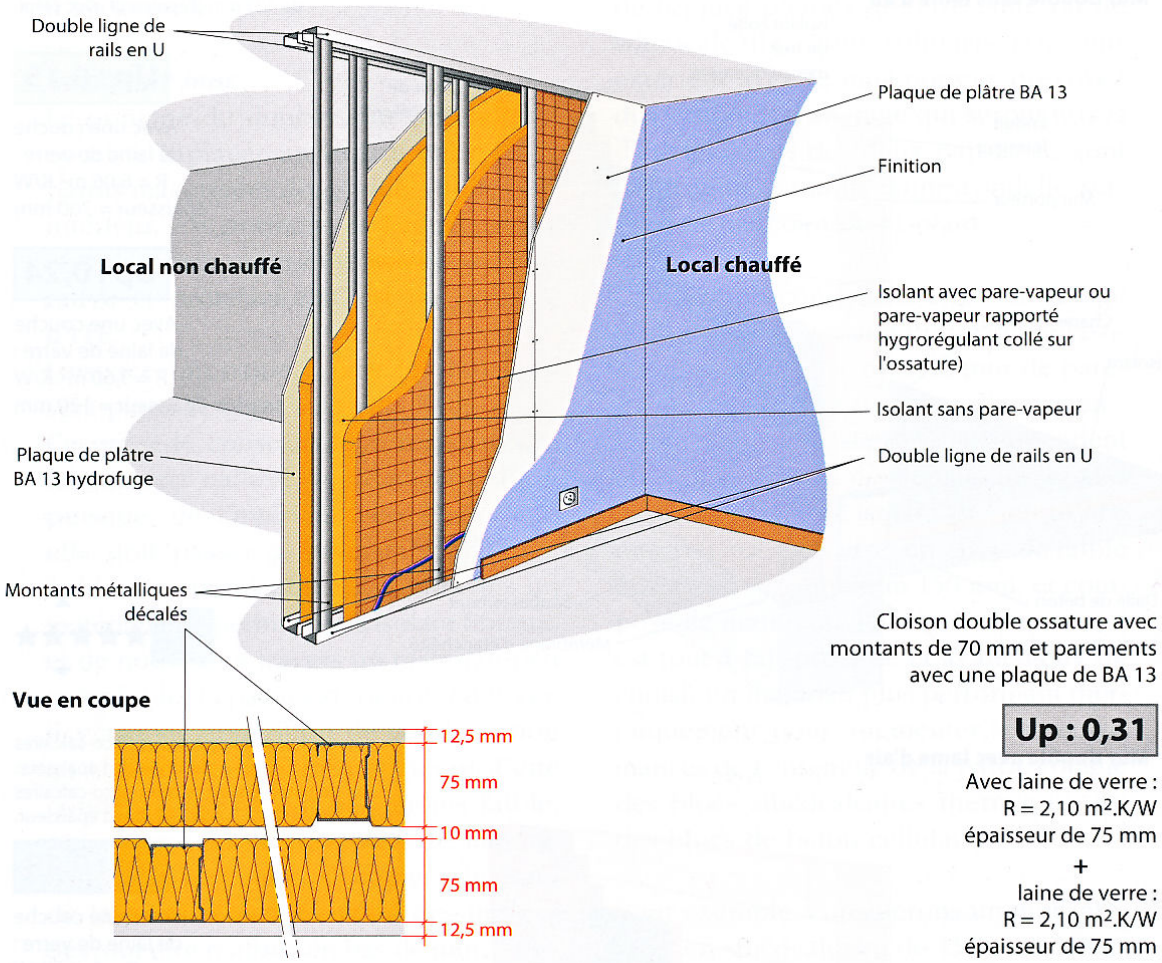
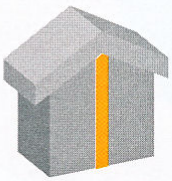


Figure 145 : L'isolation d'une cloison sur local non chauffé

ces thermiques, puisque l'air n'y est pas inerte. Avec un mur porteur en silicocalcaire de 150 mm un mur de parement de 120 mm également en silicocalcaire et 160 mm d'isolant de résistance thermique R = 5 m².K/W, on atteint un coefficient U de 0,18 W/m².K.

Avec un mur porteur en béton de 200 mm, un mur de parement en briques pleines de terre cuite de 140 mm d'épaisseur et 160 mm d'isolant de résistance thermique R = 5 m².K/W, le coefficient U atteint est de 0,17 W/m².K.



Les structures légères isolées de séparation des locaux non chauffés

Il existe aussi des parois verticales non porteuses qui doivent être isolantes. C'est le cas des structures légères ou cloisons de séparation avec des locaux non chauffés comme, par exemple, un garage. La solution correspondante est présentée à la figure 145. Elle est fondée sur l'utilisation de matériaux légers et sur

une mise en œuvre sèche rapide. Il s'agit en quelque sorte de réaliser une cloison à double ossature métallique et plaques de plâtre. Les deux ossatures métalliques verticales, espacées de 10 mm, comprendront des lisses hautes, des lisses basses et des montants métalliques. L'espace entre les ossatures servira à accueillir les panneaux d'isolant. Chaque face externe sera recouverte de plaques de plâtre fixées mécaniquement sur les ossatures. Avec cette solution, l'épaisseur totale de la paroi est de 115 mm.

Avec deux couches de laine minérale ayant chacune 75 mm d'épaisseur et une résistance thermique R = 2,10 $m^2.K/W$, on obtient un coefficient U de 0,31 $W/m^2.K$.

L'isolation thermique des planchers bas

Dans la majorité des cas, l'isolation thermique des planchers concerne uniquement les projets de construction ou de rénovation lourde. Les solutions rapportées sur un plancher existant sont possibles, mais généralement moins performantes. Plusieurs solutions sont possibles selon qu'il s'agit d'un plancher sur terre-plein, sur vide sanitaire ou sur sous-sol non chauffé. Il n'est pas nécessaire d'isoler thermiquement les planchers intermédiaires situés dans le volume habitable, entre deux espaces chauffés.
En revanche, il est judicieux de prévoir une isolation acoustique pour le confort des occupants, y compris dans une même habitation et pas seulement entre logements distincts.

Les planchers sur terre-plein

Les solutions présentées ne sont valables que si le plancher sur terre-plein est adapté à votre type de construction, et si, naturellement, les contraintes de terrain et autres le permettent.

La solution la plus courante consiste à couler une dalle sur un terre-plein compacté et sur la partie haute des semelles des fondations (figure 146). En partie centrale, le terre-plein consiste en un lit de pierres concassées recouvert d'une couche de sable et d'un film anticapillaire contre les remontées d'humidité. Une première couche d'isolant insensible à l'humidité et incompressible, est disposée sur le lit de sable. Il peut s'agir, par exemple, de polystyrène extrudé ou de verre cellulaire. Après ferraillage et coulage de la dalle, les murs pourront être élevés en appui sur celle-ci. Pour améliorer encore les performances thermiques, vous pouvez aussi prévoir une chape flottante, sur une seconde couche d'isolant. Interviendra ensuite l'isolation par l'intérieur. Veillez à limiter le plus possible le pont thermique linéaire en about de dalle. Pour ce faire, placez un isolant périphérique du côté extérieur des soubassements.

Si le sol est assez stable, compact et n'est pas un remblai, il est également possible de créer une dalle désolidarisée. Il s'agit d'intercaler une épaisseur d'isolant périphérique entre la dalle et la partie intérieure des semelles de fondation. En prévoyant une isolation par l'intérieur qui sera posée dans le prolongement de la bande périphérique, les ponts thermiques seront diminués à la jonction mur/plancher. Le principe consiste à créer une sorte de dalle flottante.

Pour juger des performances thermiques, prenons l'exemple d'une dalle en béton de 140 mm d'épaisseur. En installant sous la dalle une couche de polystyrène extrudé d'une épaisseur de 80 mm et de résistance thermique R = 2,65 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,36 W/m².K, ce qui est un résultat moyen. En choisissant des panneaux de polystyrène extrudé de 40 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 1,40 m².K/W sous la dalle, plus une chape flottante de 60 mm avec des plaques de polystyrène extrudé de 60 mm d'épaisseur et de résistance thermique R = 2,10 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,26 W/m².K.

Un autre principe constructif est possible pour réaliser un plancher sur terre-plein, il s'agit du radier. Les murs sont érigés directement sur la dalle formant la base de la construction. Le radier peut être muni de bêches, c'est-à-dire d'éléments qui permettent d'ancrer la dalle dans le sol.
Si le radier est plat, des systèmes isolants innovants pour les maisons individuelles existent. Sur le terrain, il faut décaisser l'emplacement de la maison et le niveler. On met en place un écran géotextile, un lit de pierres concassées compactées, puis un lit de gravillon.

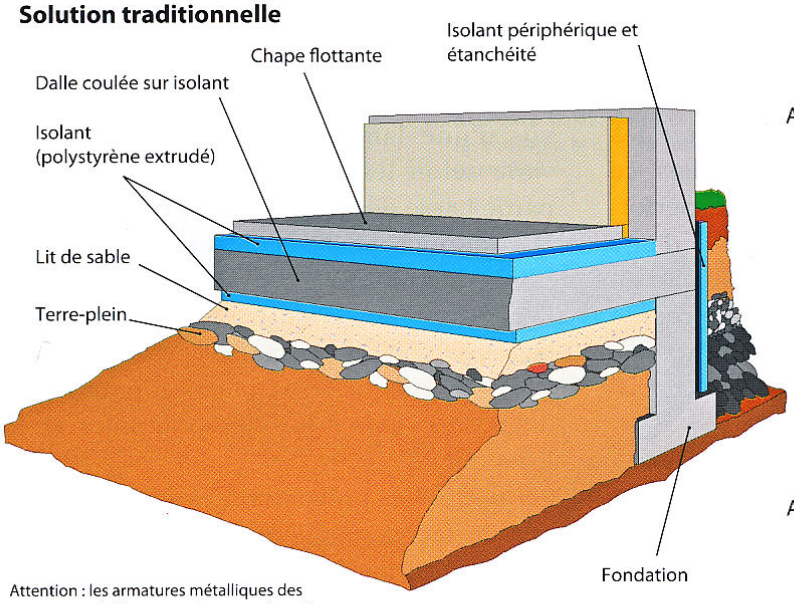
On crée une forme, destinée à recevoir la dalle, qui consiste en une série d'éléments en polystyrène extrudé de nouvelle génération. Le système se compose d'éléments pourvus d'une face lisse inférieure et d'une face supérieure pourvue de tétons. D'autres éléments disposant de remontées latérales sont utilisés pour les rangs périphériques. Les éléments occupent la totalité de l'emprise au sol de la construction. Une seconde couche de plaques d'isolant, avec cette fois des tétons sur leur face inférieure, est emboîtée sur la première. Ces plaques font office d'éléments de blocage pour solidariser l'ensemble.
Sur ce socle en polystyrène, il est alors possible de ferrailler et couler la dalle normalement, puis d'ériger les murs. Grâce au débord créé par les éléments périphériques il sera possible de créer une isolation par l'extérieur sans aucune discontinuité et par conséquent sans aucun pont thermique. Ce système ingénieux et totalement efficace du point de vue énergétique a été adopté pour la construction de maisons passives en Allemagne. Il permet d'obtenir des performances exceptionnelles.
Il va de soi qu'une étude préliminaire est indispensable pour déterminer si ce type de construction est adapté à votre projet constructif et au terrain.

En ce qui concerne les performances thermiques, avec une première couche d'éléments de 200 mm, une seconde couche de blocage de 100 mm et un radier en béton armé de 200 mm d'épaisseur, ce système permet d'atteindre un coefficient U de 0,11 W/m².K. Ce niveau peut encore être amélioré avec une dalle en béton de 25 cm, une première couche d'éléments de 200 mm et une couche de blocage de 150 mm. Le coefficient U atteint alors 0,09 W/m².K seulement.

Plus classiquement, pour créer un radier, il est aussi possible d'utiliser des granulats de verre cellulaire, en lieu et place des éléments de polystyrène. Ils sont disposés en une couche compactée sous le radier et en remontées périphériques. Avec une épaisseur de 36,5 cm de granulats, le coefficient U de cette solution est égal à 0,2 W/m².K. En portant la couche de granulats à 49 cm, le coefficient peut

Isolation d'un plancher sur terre-plein ou d'un radier

Solution traditionnelle



Attention : les armatures métalliques des ouvrages en béton ne sont pas représentées.

Dalle en béton de 140 mm et chape de 60 mm.

Up : 0,26

Avec polystyrène extrudé sous la dalle :
$R = 1{,}40\ m^2.K/W$
épaisseur 40 mm

+

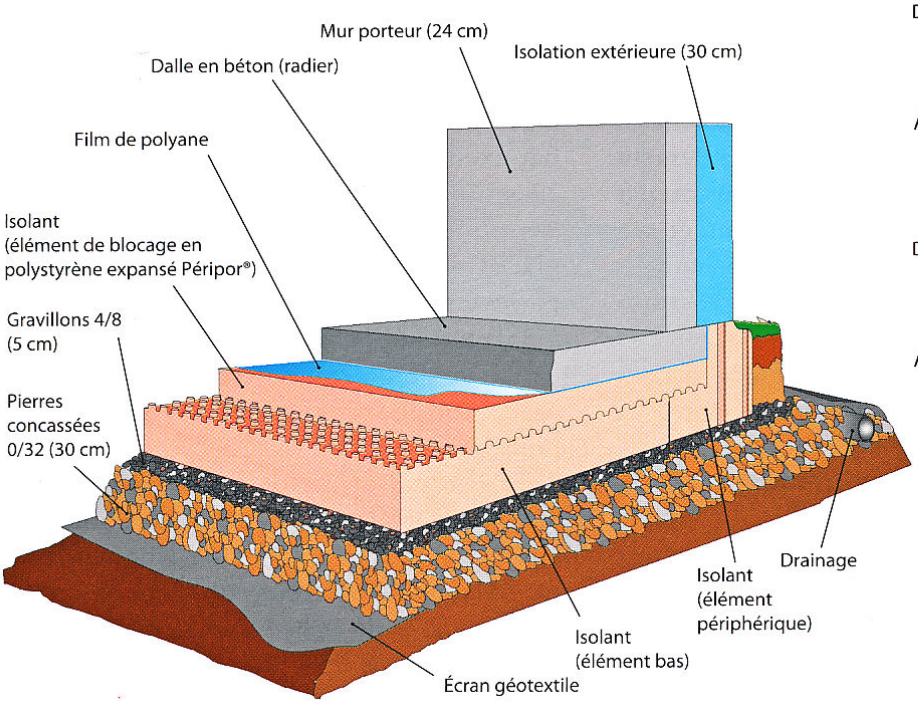
Polystyrène extrudé sous la chape :
$R = 2{,}10\ m^2.K/W$
épaisseur 60 mm

Avec isolant uniquement sous dalle et sans chape flottante.

Up : 0,36

Avec polystyrène extrudé sous la dalle :
$R = 2{,}65\ m^2.K/W$
épaisseur 80 mm

Isolation sous radier (système Isoquick)



Dalle en béton armé de 20 cm.

Up : 0,09

Avec polystyrène extrudé : élément bas de 200 mm et élément de blocage de 150 mm

Dalle en béton armé de 25 cm.

Up : 0,11

Avec polystyrène extrudé : élément bas de 200 mm et élément de blocage de 100 mm

Figure 146 : L'isolation des planchers sur terre-plein

atteindre 0,15 W/m².K. Les granulats sont posés sur un film géotextile et compactés. La forme du radier est délimitée par des coffrages et la dalle est coulée. Il est important de prévoir un système de drainage efficace afin d'éviter les infiltrations d'eau dans les granulats, ce qui affaiblirait sensiblement leurs performances. Il ne s'agit pas non plus d'une technique constructive traditionnelle en France. Par conséquent, elle nécessite une étude préalable.

Les planchers bas sur vide sanitaire ou local non chauffé

Dans le cadre d'un projet constructif, la solution la plus souvent adoptée pour les planchers bas (figure 147) est celle des entrevous isolants en polystyrène avec poutrelles en béton précontraint et chape de compression. Ce procédé classique intègre une partie de l'isolation dans le plancher lui-même. Pour un projet de rénovation, il est rare et difficile de refaire entièrement les planchers. C'est pourquoi on préfère généralement recourir à l'isolation par le dessus ou par le dessous d'un plancher existant, ce qui implique une diminution de la hauteur des pièces. À moins d'utiliser de fortes épaisseurs d'isolant, ce qui n'est pas toujours possible, ces solutions restent moins performantes thermiquement.

Les planchers avec entrevous en polystyrène

Il existe plusieurs types d'entrevous ou hourdis. Ils peuvent être en béton, en terre cuite ou en polystyrène. Ces derniers sont les plus appropriés pour renforcer les performances thermiques d'un plancher. Deux modèles sont disponibles : avec ou sans languette de recouvrement. Ceux qui ne possèdent pas de languette de recouvrement sont à proscrire, car ils engendrent des ponts thermiques importants au niveau des poutrelles en béton. Les entrevous pourvus d'une languette, dont l'épaisseur varie selon les modèles, recouvrent la partie basse des poutrelles, ce qui assure la continuité de l'isolation et limite les ponts thermiques.

L'inconvénient de ce type de plancher isolé par l'intérieur est qu'il persiste des ponts thermiques à la jonction entre la dalle de compression, les poutrelles et les murs.

Les poutrelles précontraintes sont réparties de façon régulière selon le calepinage fourni par le bureau d'étude ou le fabricant et étayées là où c'est nécessaire. Les entrevous sont placés entre les poutrelles. Le ferraillage est installé, puis la dalle de compression est coulée.

S'il y a un vide sanitaire sous le plancher, on utilise des entrevous classiques. S'il y a un sous-sol ou un local non chauffé, prévoyez des entrevous ignifugés ou protégés par une sous-face incombustible, par exemple une couche de fibragglos.

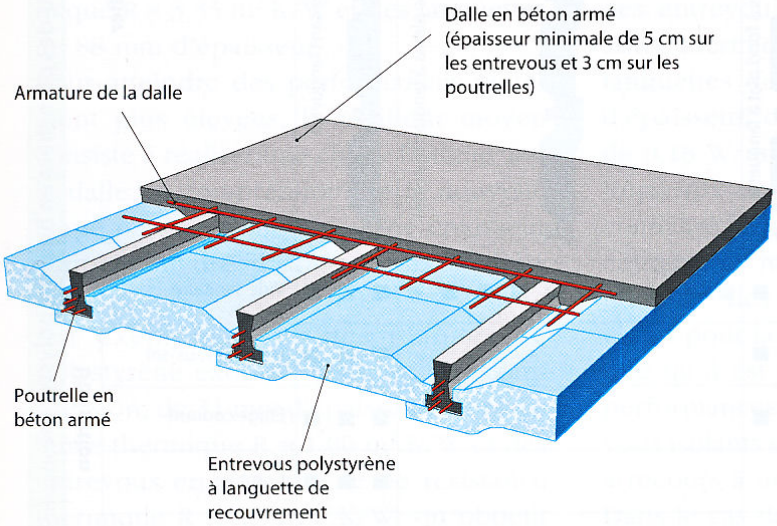
Les performances thermiques obtenues grâces aux seuls entrevous isolants sont correctes. Les languettes de recouvrement sont importantes car elles influencent sensiblement les résultats. Plus elles sont épaisses, meilleures sont les performances.

Avec des entrevous de polystyrène de 176 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 2,45 m².K/W et des languettes de 55 mm d'épaisseur, on obtient un coefficient U de 0,36 W/m².K. Ce coefficient passe à 0,28 W/m².K avec des entrevous de polystyrène de 203 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 3,20 m².K/W et des languettes de

Isolation intégrée au plancher

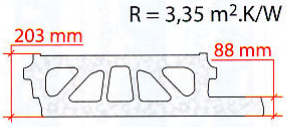
Hourdis isolants à languette de recouvrement

Exemple de plancher sur vide sanitaire



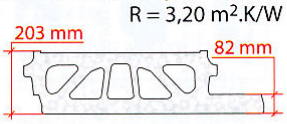
Up : 0,27

Avec entrevous en polystyrène :
R = 3,35 m².K/W



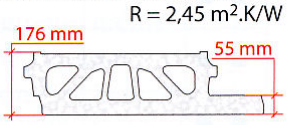
Up : 0,28

Avec entrevous en polystyrène :
R = 3,20 m².K/W



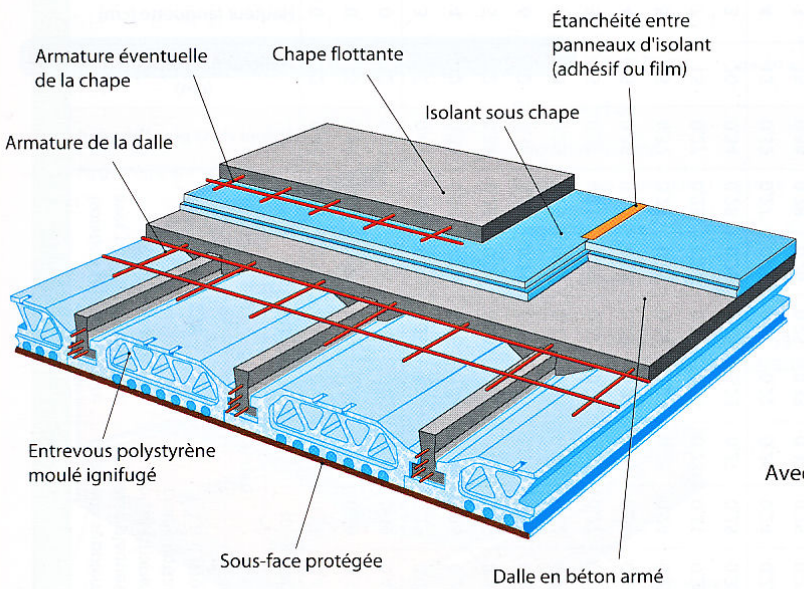
Up : 0,36

Avec entrevous en polystyrène :
R = 2,45 m².K/W



Hourdis isolants + isolation sous chape flottante

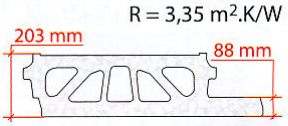
Exemple de plancher sur sous-sol non chauffé



Avec polystyrène extrudé sous la chape :
R = 2 m².K/W
épaisseur 61 mm

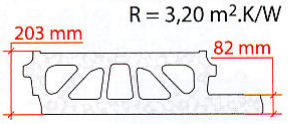
Up : 0,18

Avec entrevous en polystyrène :
R = 3,35 m².K/W



Up : 0,20

Avec entrevous en polystyrène :
R = 3,20 m².K/W



Avec polystyrène extrudé sous la chape :
R = 1 m².K/W
épaisseur 31 mm

Up : 0,21

Avec entrevous en polystyrène :
R = 3,35 m².K/W

Figure 147 : L'isolation intégrée au plancher

Valeurs de U des planchers en hourdis polystyrène (D'après SEAC)

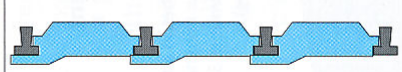
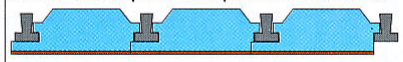
Type de plancher	Utilisation					Entraxe des poutrelles (cm)	Longueur (cm)	Hauteur languette (cm)	Hauteur hors languette (cm)	Valeur de U plancher seul	Isolation supplémentaire avec plaques de PSE sous chape flottante λ = 0,036				Isolation supplémentaire avec plaques de polyuréthane sous chape flottante λ = 0,029			
	Vide sanitaire	Haut de sous-sol	Étage courant	Combles	Toiture terrasse						Épaisseur en mm							
											20	30	40	50	20	30	40	50
Hourdis découpés sans languette	■	■	■	■	■	63	104/124	0	12	0,85	0,68	0,57	0,49	0,43	0,62	0,51	0,43	0,38
	■	■	■	■	■	63	104/124	0	15	0,80	0,66	0,56	0,49	0,43	0,61	0,50	0,43	0,37
	■	■	■	■	■	63	104/124	0	12	0,80	0,64	0,54	0,47	0,42	0,59	0,49	0,42	0,37
Hourdis découpés pleins à languette évidés 	■					63	104/124	3	12	0,42	0,34	0,31	0,29	0,26	0,32	0,29	0,27	0,24
	■					63	104/124	4	12	0,36	0,30	0,28	0,26	0,24	0,29	0,26	0,24	0,22
	■					63	104/124	5	12	0,34	0,28	0,26	0,25	0,23	0,27	0,25	0,23	0,21
	■					63	104/124	6	12	0,30	0,26	0,24	0,22	0,21	0,25	0,23	0,21	0,20
	■					63	104/124	7	12	0,29	0,25	0,23	0,22	0,21	0,24	0,22	0,21	0,19
	■					63	104/124	3	15	0,37	0,31	0,29	0,27	0,25	0,30	0,27	0,25	0,23
	■					63	104/124	4	15	0,36	0,30	0,28	0,26	0,24	0,29	0,26	0,24	0,22
	■					63	104/124	5	15	0,32	0,27	0,25	0,23	0,22	0,26	0,24	0,22	0,21
	■					63	104/124	7	15	0,27	0,23	0,22	0,21	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18
	■					63	104/124	3	20	0,34	0,28	0,26	0,25	0,23	0,27	0,25	0,23	0,21
Hourdis découpés à fond plat à languette	■	■	■			63	104/124	4	12	0,32	0,27	0,25	0,23	0,22	0,26	0,24	0,22	0,21
	■	■	■			63	104/124	3	15	0,34	0,28	0,26	0,25	0,33	0,27	0,25	0,23	0,21
Hourdis creux à languette à fond plat non évidés		■				60	60	5	12	0,35	0,29	0,27	0,25	0,24	0,28	0,26	0,24	0,22
		■				60	60	5	12	0,35	0,29	0,27	0,25	0,24	0,28	0,26	0,24	0,22
		■				60	60	5	12	0,35	0,29	0,27	0,25	0,24	0,28	0,26	0,24	0,22
		■				60	60	7	12	0,80	0,26	0,24	0,22	0,21	0,25	0,23	0,21	0,20
Hourdis découpés à fond plat sous-face fibres 	■	■				60	100	3	12	0,35	0,29	0,27	0,25	0,24	0,28	0,26	0,24	0,22
	■	■				60	100	3	15	0,34	0,28	0,26	0,25	0,23	0,27	0,25	0,23	0,21
	■	■				60	100	3	20	0,32	0,27	0,25	0,23	0,22	0,26	0,24	0,22	0,21
Rehausses polystyrène découpé	■	■	■	■	■	60	124	0	7	1,16	0,87	0,70	0,59	0,51	0,78	0,62	0,51	0,43
	■	■	■	■	■	60	124	0	11	0,99	0,82	0,67	0,56	0,49	0,74	0,59	0,49	0,42

Figure 148 : Les valeurs U des planchers avec hourdis en polystyrène

82 mm d'épaisseur. Le coefficient U peut être légèrement amélioré à 0,27 W/m².K avec des entrevous de polystyrène de 203 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 3,35 m².K/W et des languettes de 88 mm d'épaisseur.

Pour atteindre des performances nettement plus élevées, le meilleur moyen consiste à réaliser une chape flottante sur la dalle de compression. Cette nouvelle étape permet d'intercaler une épaisseur supplémentaire d'isolant sous la dalle flottante.

Par exemple, avec des plaques de polystyrène extrudé, résistant à la compression, de 31 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 1,00 m².K/W et des entrevous en polystyrène de résistance thermique R = 3,35 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,21 W/m².K.

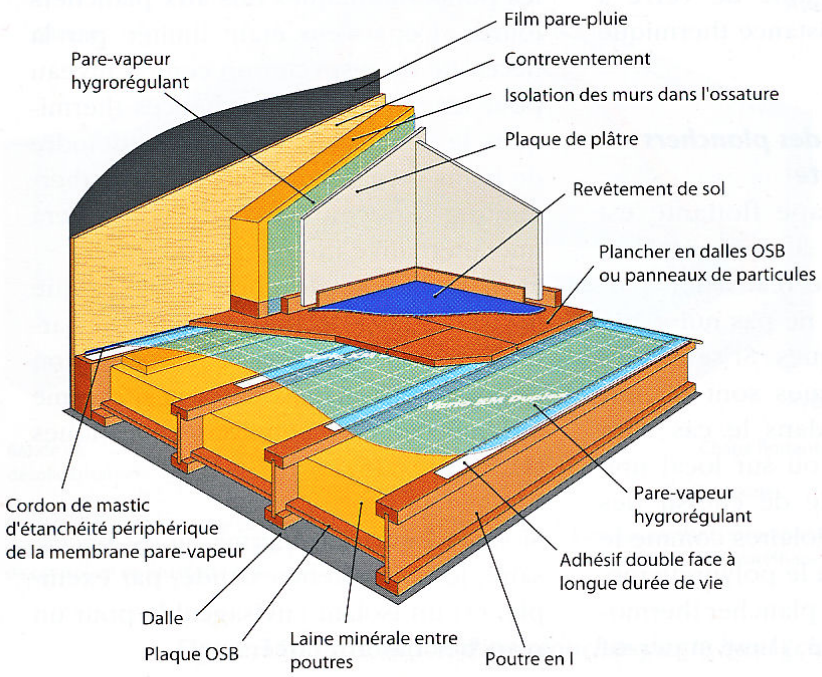
En augmentant l'épaisseur de l'isolant situé sous la chape flottante, on peut augmenter sensiblement les performances thermiques globales du plancher. Par exemple, avec un isolant en polystyrène extrudé de 61 mm, de résistance thermique R = 2,00 m².K/W, des entrevous en polystyrène de résistance thermique R = 3,35 m².K/W et des languettes de recouvrement de 88 mm d'épaisseur, on obtient un coefficient U de 0,18 W/m².K.

Reportez-vous à la figure 148 pour connaître les performances des planchers courants en fonction du type de hourdis utilisés et des caractéristiques de l'isolant choisi pour la chape flottante. On remarque qu'il est très difficile d'obtenir des performances correctes avec des entrevous isolants sans languette, même si l'on a recours à une chape flottante.

Dans le cas des maisons en bois, on utilise également le procédé de l'isolation intégrée dans l'épaisseur du plancher (figure 149). Plusieurs techniques sont possibles, fondées sur le même principe.

Isolation d'un plancher bas de maison bois (d'après Isover)

Données pour plancher avec poutres en I de 89 x 356 mm posées à un entraxe de 400 mm, une lame d'air de 120 mm et une plaque OSB de 16 mm et plancher en OSB de 16 mm.



Up : 0,16

Avec laine de verre de 200 mm d'épaisseur pour R = 5,70 m².K/W

Up : 0,18

Avec laine de verre de 180 mm d'épaisseur pour R = 5,10 m².K/W

Figure 149 : L'isolation du plancher bas des maisons en bois

Le plancher bas peut être porteur ou reposer sur une dalle béton. Il se compose de poutres en bois en I qui forment un caisson. Celles-ci sont obturées dans leur partie inférieure par des plaques d'OSB, ce qui permettra de les remplir d'un isolant thermique. À cet effet, on peut employer des isolants en rouleaux ou en vrac. Il convient de prévoir un pare-vapeur hygrorégulant afin d'assurer une étanchéité à l'air correcte du plancher.

Le pare-vapeur sera fixé sur les poutres en I au moyen d'adhésif double face. En périphérie, prévoyez un cordon de mastic adhésif d'étanchéité. Pour le sol de base, on peut choisir des dalles de plancher OSB ou des panneaux de particules. Avec des poutres en I de 89 x 356 mm, espacées de 400 mm, deux plaques OSB de 16 mm, un vide d'air et 180 mm de laine de verre, de résistance thermique R = 5,10 m^2.K/W, le coefficient U obtenu est égal à 0,18 W/m^2.K. Ce coefficient peut être abaissé à 0,16 W/m^2.K si l'on porte l'épaisseur de laine de verre à 200 mm, avec une résistance thermique R = 5,70 m^2.K/W.

L'isolation thermique des planchers par une chape flottante

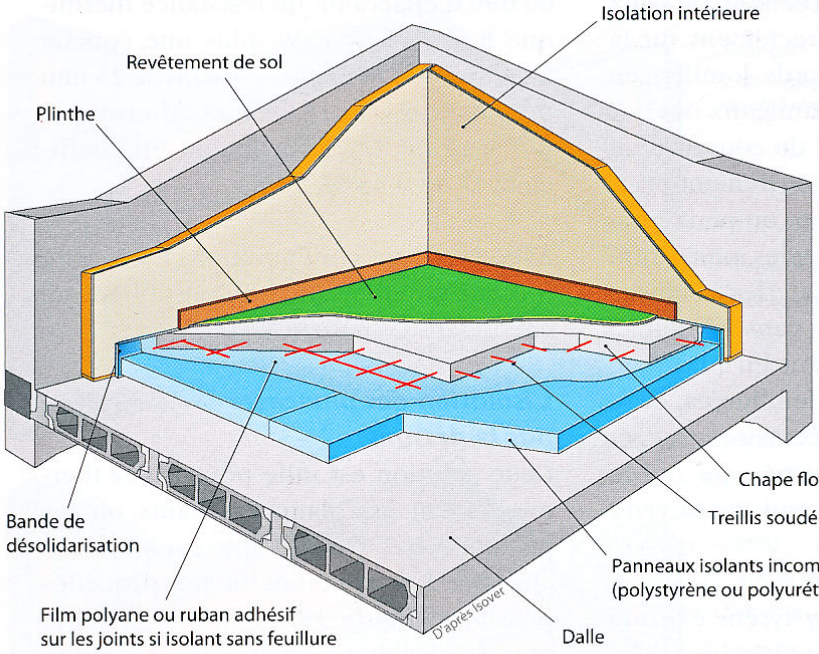
Le principe de la chape flottante est relativement simple à comprendre, cependant il exige une réalisation parfaite, notamment pour ne pas nuire aux performances acoustiques. Si seules les performances thermiques sont recherchées, par exemple, dans le cas d'un plancher sur sous-sol ou sur local non chauffé, il est possible de choisir des isolants plastiques alvéolaires comme le polystyrène extrudé ou le polyuréthane. En revanche, lorsqu'un plancher thermo-acoustique est envisagé, il est impératif de choisir un isolant adapté, c'est-à-dire fibreux. La combinaison de plusieurs isolants est possible, par exemple, fibreux et plastique alvéolaire. L'isolant choisi doit présenter une résistance suffisante à la compression.
Le principe de la chape flottante est compatible avec les planchers rayonnants électriques ou à eau chaude. La chape flottante fait partie du volume chauffé de l'habitation.

Une chape flottante (figure 150) se compose d'un isolant situé sous une chape armée, désolidarisée des parois verticales et de tout autre élément traversant comme les canalisations, au moyen de bandes d'isolant ou de mousse. Pour la mise en œuvre proprement dite, reportez-vous à la troisième partie de l'ouvrage. L'un des inconvénients de cette solution est la diminution de la hauteur disponible sous plafond, ce qui peut être un handicap dans certains cas de figure. Malgré cela, c'est le meilleur moyen pour rénover et isoler par l'intérieur tout en réduisant les ponts thermiques dus aux planchers lourds. L'épaisseur étant limitée par la nécessité de respecter un certain niveau pour les sols, les performances thermiques le sont également. Pour atteindre de hauts niveaux de performances thermiques, le recours aux PIV constituera une alternative intéressante.
Si la recherche de confort acoustique prime, il existe d'autres solutions, particulièrement adaptées à la rénovation de planchers anciens déformés, comme indiqué dans les solutions acoustiques (voir page 315).

Si seule l'isolation thermique est nécessaire, le polystyrène extrudé, par exemple, est un isolant envisageable pour un plancher bas à rénover.

Isolation sous chape flottante

Solution thermique (planchers bas)



Avec plancher en hourdis béton :
R = 0,15 m².K/W
sur vide sanitaire

Up : 0,32

Avec plaques de polystyrène :
R = 2,65 m².K/W
épaisseur de 80 mm

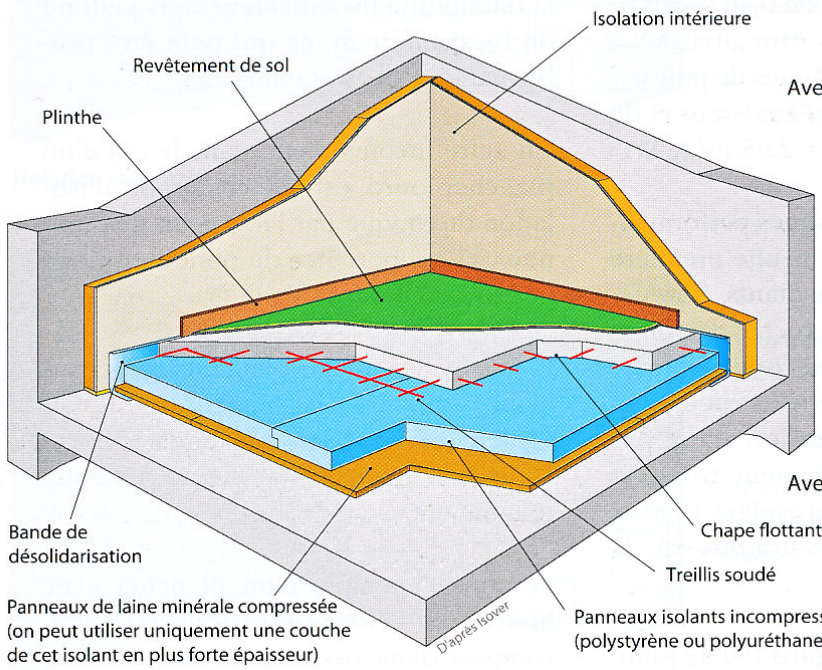
Up : 0,33

Avec plaques de polystyrène :
R = 2,50 m².K/W
épaisseur de 78 mm

Up : 0,40

Avec plaques de polystyrène :
R = 2,00m².K/W
épaisseur de 60 mm

Solution thermo-acoustique (planchers d'étage)



Avec plancher en béton de 140 mm
et dalle flottante de 50 mm
sur vide sanitaire

Up : 0,33

Avec plaques de polystyrène extrudé :
R = 2,10 m².K/W
épaisseur de 60 mm
+
panneau de laine de roche :
R = 0,45 m².K/W
épaisseur de 15 mm

Avec plancher
en béton de 140 mm
et dalle flottante de 50 mm
sur l'extérieur

Up : 0,35

Avec plaques de polystyrène extrudé :
R = 2,10 m².K/W
épaisseur de 60 mm
+
panneau de laine de roche :
R = 0,45 m².K/W
épaisseur de 15 mm

Figure 150 : L'isolation d'un plancher par le haut (chape flottante)

Comme pour les solutions acoustiques, prévoyez une bande de désolidarisation sur le pourtour de la pièce. Les panneaux isolants seront posés directement sur la dalle de plancher, à bords jointifs, en coupe de pierre. Si les panneaux ont des bords droits, il convient de couvrir d'un film polyane. Cela vaut également pour les isolants fibreux. Sinon, on peut aussi coller du ruban adhésif sur les joints entre panneaux afin d'éviter que les laitances de ciment ne pénètrent dans les joints. Avec les plaques d'isolant en plastique alvéolaire bouvetées ou feuillurées, cette précaution n'est pas nécessaire.
Prévoyez une chape armée de faible épaisseur (≤ 50 mm), qui recouvrira l'ensemble de l'isolant.

Avec des plaques de polystyrène extrudé de 60 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 2,00 m².K/W, sur un plancher en hourdis béton sur vide sanitaire, de résistance thermique R = 0,15 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,40 W/m².K. Le coefficient U peut être abaissé à 0,32 W/m².K avec des plaques de polystyrène extrudé de 80 mm d'épaisseur et de résistance thermique R = 2,65 m².K/W.

Pour garantir aussi de bonnes performances acoustiques, prévoyez une première couche de panneaux isolants fibreux, comme de la laine de roche compressée, par exemple. La seconde couche pourra être en polystyrène extrudé. Bien entendu, cette combinaison n'est pas obligatoire. Il est également possible de ne choisir qu'un seul isolant fibreux incompressible pour la totalité de la couche isolante.

Dans l'exemple de la figure 150, le plancher se compose d'une dalle en béton de 140 mm d'épaisseur sur l'extérieur et d'une chape flottante de 50 mm. Avec des plaques de polystyrène extrudé de 60 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 2,10 m².K/W, plus une couche de panneaux de laine de roche de 15 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 0,45 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,35 W/m².K.

Avec la même configuration, mais cette fois sur un vide sanitaire, on obtient un coefficient U de 0,33 W/m².K.

L'isolation des planchers par le dessous

Cette solution est utile pour isoler thermiquement les planchers hauts ou les planchers bas, par exemple sur local non chauffé. Les systèmes et les procédés possibles (figure 151) diffèrent selon le type de plancher à isoler : plancher léger, dalle de béton, hourdis, etc. Le principe consiste à installer un isolant rapporté en sous-face du plancher. L'inconvénient est la diminution de la hauteur sous plafond du local inférieur, ce qui peut être problématique dans certains cas.

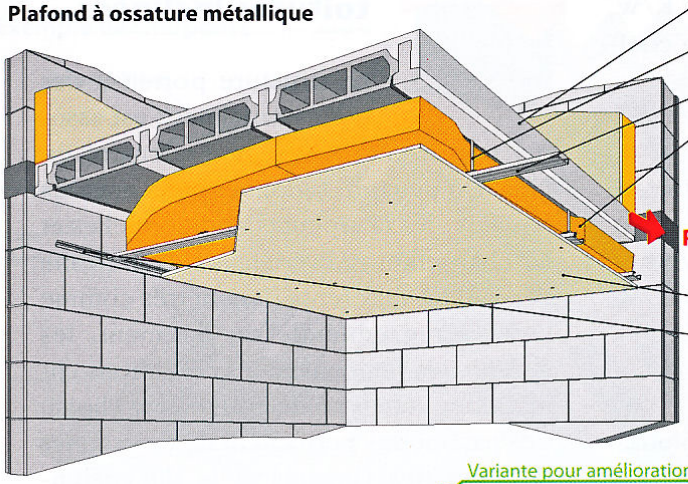
Un autre inconvénient, dans le cas d'un plancher lourd, est que cet apport d'isolation thermique par l'intérieur, ne diminue pas l'importance du pont thermique linéaire créé par la dalle.

Pour améliorer sensiblement les performances globales, il convient de prévoir également une isolation dans le local supérieur, grâce à une chape flottante, notamment.

Prenons l'exemple d'un plancher avec hourdis en béton. Un plafond rapporté, composé d'une ossature métallique et une plaque de plâtre, est créé. Il incorpore un isolant thermique. Avec des panneaux de

Isolation raportée en sous-face des planchers

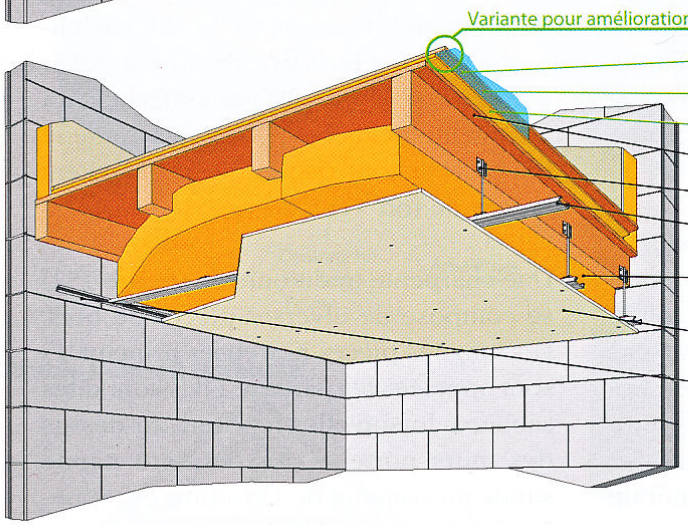
Plafond à ossature métallique



Plancher avec poutrelles et hourdis en béton

Up : 0,35

Avec laine minérale :
R = 2,50 m².K/W
épaisseur 100 mm

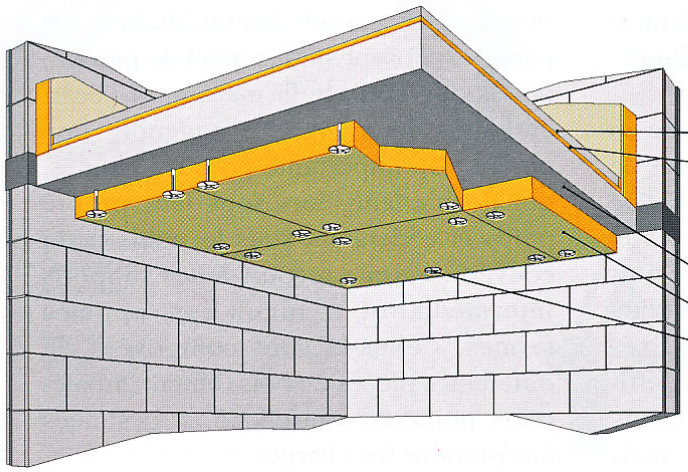


Plancher léger en bois

Up : 0,20

Avec laine minérale :
R = 5,40 m².K/W
épaisseur 190 mm

Isolation rapportée sous dalle



Chape flottante de 4 cm
+ laine de roche compressée de 35 mm
+ dalle en béton armé de 20 cm

Up : 0,21

Avec panneaux sandwich
de fibre de bois liée à la magnésie
et polystyrène : épaisseur 125 mm

Up : 0,23

Avec panneaux sandwich
de fibre de bois liée à la magnésie
et laine de roche : épaisseur 125 mm

Plancher avec poutrelles et hourdis en béton

Up : 0,33

Avec polystyrène expansé :
R = 2,65 m².K/W
épaisseur = 85 mm

Figure 151 : L'isolation rapportée en sous-face d'un plancher

laine de verre de 100 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 2,50 m².K/W, cette solution permet d'obtenir un coefficient U de 0,35 W/m².K.

On peut aussi utiliser des panneaux de polystyrène expansé fixés mécaniquement en sous-face avec des chevilles étoiles. Pour une épaisseur de 85 mm et une résistance thermique R = 2,65 m².K/W, on atteint dans ce cas un coefficient U de 0,33 W/m².K.

Il est possible d'adopter la même solution pour un plancher léger en bois, comme dans le second exemple. En partie haute, le plancher repose sur une sous-couche isolante et des plaques de sol (chape flottante sèche).

Une ossature métallique de plafond rapporté est fixée aux solives au moyen de suspentes. Le plénum accueille l'isolant thermique, en sachant qu'il ne doit pas remplir tout l'espace disponible. Les plaques de plâtre pourront ensuite être fixées mécaniquement sur l'ossature. Avec des panneaux de laine minérale de 190 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 5,40 m².K/W, cette solution permet d'obtenir un coefficient U de 0,20 W/m².K.

Prenons un autre exemple : une dalle en béton de 20 cm d'épaisseur, 35 mm de laine de roche compressée et une chape flottante de 4 cm. Avec des panneaux sandwich de fibragglos (fibres de bois liées avec de la magnésie) et de la laine de roche de 125 mm d'épaisseur, fixés mécaniquement, on obtient un coefficient U de 0,23 W/m².K. Pour la même épaisseur de panneau sandwich, mais intégrant cette fois du polystyrène, le coefficient U est porté à 0,21 W/m².K.

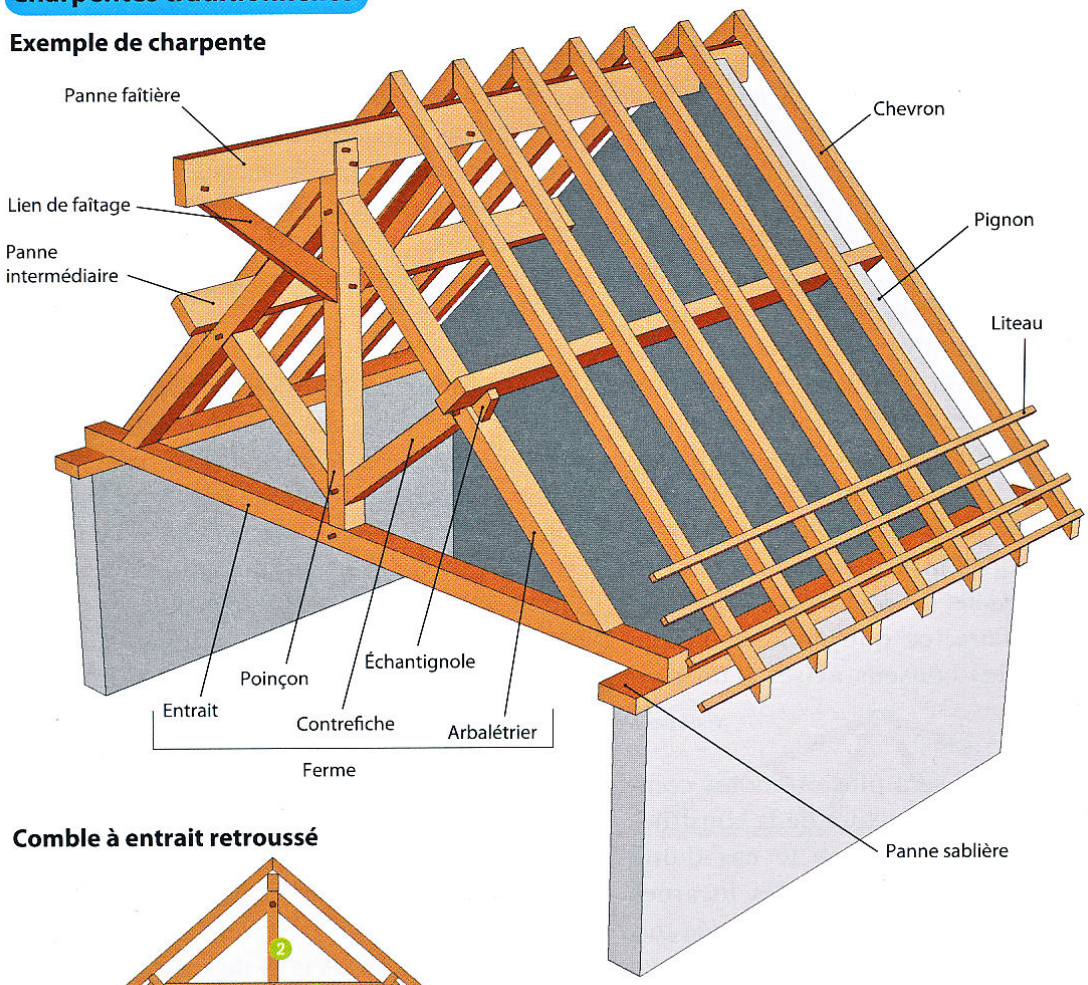
L'isolation des toitures inclinées

La structure porteuse des toitures inclinées est assurée par la charpente, généralement en bois. On peut en distinguer deux grandes familles : les charpentes traditionnelles et les charpentes industrialisées. Leur forme dépend de différents paramètres comme l'esthétique générale du bâtiment, les spécificités régionales, les conditions climatiques et le type de couverture choisi. Ces paramètres permettent de déterminer la pente des versants et le dimensionnement des éléments devant assurer une résistance mécanique suffisante. La charpente est ancrée dans la maçonnerie pour éviter tout risque de soulèvement en cas de fort vent.

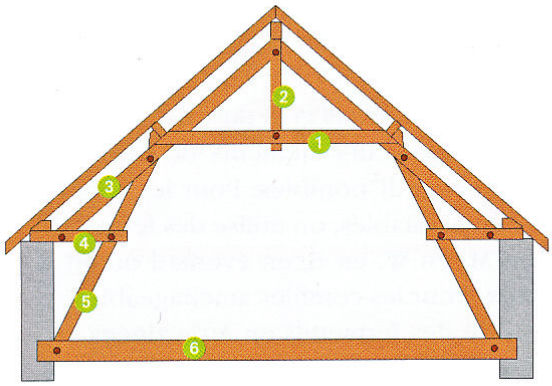
Une charpente traditionnelle (figure 152) se compose de diverses pièces de bois. Les longues pièces porteuses principales sont appelées les pannes. Elles sont dites sablières lorsqu'elles reposent au-dessus des murs porteurs. La dernière panne située au sommet de la toiture est appelée faîtière. Sur chaque versant du toit et selon sa surface, sont disposées une ou plusieurs pannes intermédiaires. Les pannes reposent sur les murs de pignon, de chaque côté de la maison. Si l'écart entre les deux pignons engendre une portée trop importante pour les pannes, qui fléchiraient alors sous leur propre poids et céderaient sous le poids de la couverture, on a recours à des supports intermédiaires triangulaires, appelés fermes. Celles-ci sont composées de différentes pièces de bois (entrait, arbalétriers, poinçon, contrefiche…), destinées à reprendre les charges.
Perpendiculairement aux pannes, à écarts réguliers, sont fixés les chevrons, sur

Charpentes traditionnelles

Exemple de charpente

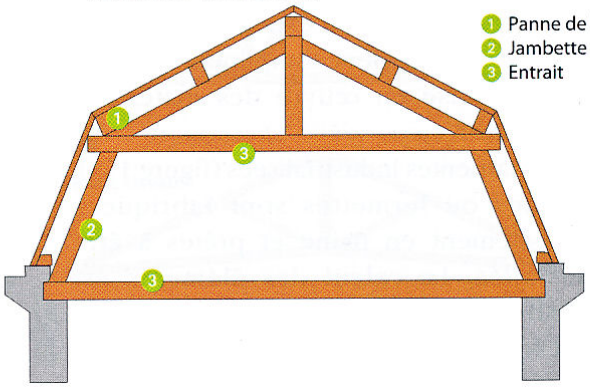


Comble à entrait retroussé



1. Entrait retroussé
2. Contrefiche
3. Arbalétrier
4. Moise
5. Blochet
6. Entrait

Comble à la Mansart



1. Panne de brisis
2. Jambette
3. Entrait

Figure 152 : Les charpentes traditionnelles

toute la longueur du versant du toit. Les chevrons servent de support aux liteaux qui eux-mêmes sont destinés à accueillir les éléments de couverture, généralement des tuiles. L'extrémité inférieure des chevrons sert de fixation aux supports de gouttières.

Cette configuration traditionnelle présente l'inconvénient de condamner l'espace des combles en les rendant difficilement aménageables. Pour profiter des combles comme surface habitable, il convient de choisir d'autres types de charpente comme dans les combles à entrait retroussé ou à la Mansart. La construction d'une charpente traditionnelle nécessite de nombreux calculs et du savoir-faire, ce qui implique nécessairement les conseils avisés d'un professionnel.

Une charpente sera plus ou moins complexe selon l'architecture de la construction, par exemple, dans le cas d'une maison en L ou en U, si des lucarnes sont prévues, etc. Si les charpentes traditionnelles récentes sont réalisées avec des pièces de bois parfaitement équarries et posées à intervalles réguliers, il peut ne pas en être de même dans les constructions anciennes. La régularité et la parfaite rectitude n'étaient pas toujours de mise, ce qui peut compliquer quelque peu la mise en œuvre des matériaux d'isolation.
Les charpentes industrialisées (figure 153), fermes ou fermettes sont fabriquées directement en usine et prêtes à être installés. Le calcul des éléments est réalisé grâce à un logiciel spécialisé, en fonction des contraintes à respecter comme la résistance mécanique, la pente des versants, la région, la destination des combles, aménageables ou non, etc. Les fermettes sont réalisées avec des planches de 22, 27, 33 ou 45 mm d'épaisseur, assemblées au moyen de goussets, de connecteurs métalliques ou par clouage. Ce sont les arbalétriers qui jouent le rôle de chevrons. Dans le cas de combles non aménageables, les entraits servent de support au plafond rapporté isolé. Les entraits sont fixés sur la partie haute des maçonneries.

Pour assurer la stabilité de la toiture, l'ensemble que constitue les fermettes est renforcé au moyen de barres de contreventement, des entretoises et des lisses antiflambement. De même, à l'emplacement de chaque fenêtre de toit, il convient de doubler les fermettes. Les fermettes sont idéales et pratiques pour les toitures simples à deux versants. Lorsqu'une toiture plus complexe est nécessaire, on a recours à des pièces spéciales. Les fermettes permettent d'utiliser moins de bois que les charpentes traditionnelles. Leur mise en œuvre reste plus aisée et rapide.

Selon les contraintes et la destination des combles, plusieurs éléments de formes diverses sont disponibles. Pour les combles non habitables, on utilise des fermettes en M, en W, en E, en éventail ou en ciseaux. Pour les combles aménageables, on utilise des fermettes en A destinées à reposer sur la dalle ou à entrait porteur avec un ou deux appuis.
Par conséquent, les solutions d'isolation pour les toitures inclinées dépendent de nombreux facteurs. En effet, selon le type de combles, l'isolation sera mise en œuvre différemment. Pour des combles perdus, elle sera réalisée au-dessus du plancher haut ou du plafond rapporté. Dans le cas de combles aménagés, elle sera intégrée à la charpente, si la couver-

Charpentes industrialisées

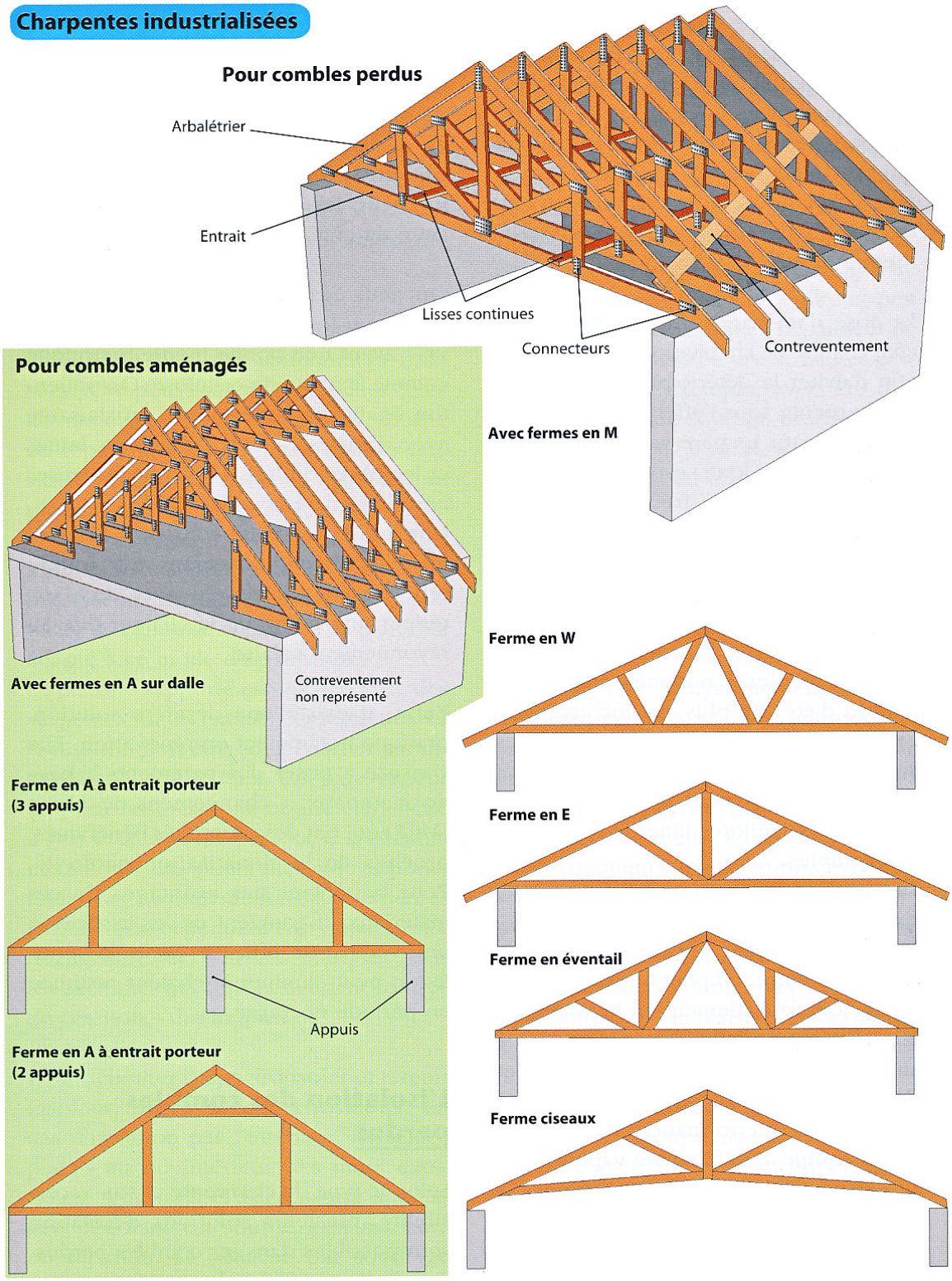


Figure 153 : Les charpentes industrialisées

ture est existante. Elle peut être réalisée au-dessus de la charpente, dans un projet de construction ou en cas de rénovation de la couverture.
Les performances thermiques et acoustiques du toit dépendent exclusivement du type d'isolant utilisé et, par conséquent, de son épaisseur et de sa résistance thermique.

La pose d'un pare ou freine-vapeur du côté chauffé de l'habitation est nécessaire afin d'éviter la détérioration des pièces de charpente sous l'effet du transfert de vapeur d'eau. Le pare-vapeur intégré à l'isolant (papier kraft) est d'une efficacité relative. Le pare ou freine-vapeur rapporté représente la meilleure solution.
Par nature, les combles ne sont pas l'endroit idéal pour créer de l'inertie thermique puisqu'ils comportent rarement des parois lourdes, ce qui est un inconvénient, notamment pour le confort d'été. De plus, cet inconvénient est amplifié par le fait que les combles sont directement soumis au rayonnement solaire. Heureusement, il existe des solutions pour améliorer l'inertie thermique des combles.
La première consiste à créer des pans de toiture lourds, sans charpente en bois. Par exemple, dans une construction en béton cellulaire, on peut utiliser des dalles de toiture également en béton cellulaire. Il s'agit de dalles armées fabriquées sur mesure qui font office de pannes et donnent l'inclinaison de la toiture. Pour parfaire leurs performances thermiques, on les équipe d'un film pare-vapeur et on réalise une isolation complémentaire par l'extérieur. Les chevrons pourront ensuite être fixés pour recevoir les liteaux et la couverture. Pour plus de détails sur la mise en œuvre de ce procédé, reportez-vous à la troisième partie de l'ouvrage.

Une autre solution consiste à couler un mortier isolant allégé entre les solives, comme cela se pratique pour les mortiers de chanvre (voir page 131). Le mortier est disposé dans les espaces en forme de caissons matérialisés par le revêtement intérieur, les chevrons, et un habillage situé du côté extérieur.

On peut également se servir des caissons pour les remplir avec un isolant en vrac ayant une bonne inertie thermique comme la ouate de cellulose. On obtiendra également une inertie satisfaisante avec d'autres isolants comme les laines et les fibres de bois en panneaux mises en œuvre de façon classique.
Une autre possibilité consiste à installer en complément un écran sous toiture réfléchissant afin de renvoyer vers l'extérieur une partie de la chaleur due au rayonnement solaire.

Enfin, il existe une dernière solution, pratique notamment en rénovation. Elle consiste à poser des parements à base de matériaux à changement de phase (MCP) qui ont des propriétés bénéfiques, proches de la climatisation naturelle. Pour bénéficier des avantages de ces matériaux, il convient de les associer à une ventilation efficace. Seule la ventilation peut éliminer la chaleur restituée en période nocturne.

L'isolation des combles perdus

Selon le type de charpente et son accessibilité, plusieurs solutions d'isolation sont possibles dans les combles perdus. En règle générale, les performances thermiques que l'on peut atteindre dans ce cas sont très bonnes, puisque l'on

est pas limité par l'épaisseur d'isolant à mettre en œuvre.
Afin de ne pas créer de ponts thermiques, il convient de préserver la continuité avec l'isolant des murs porteurs, surtout en cas d'isolation par l'extérieur. Il est important également de veiller à conserver la bonne ventilation de la charpente afin d'assurer sa pérennité.

Pour les **charpentes industrialisées**, deux méthodes sont couramment utilisées. On peut isoler le plancher avec un matériau en vrac, qui sera soufflé ou répandu. On peut aussi réaliser une isolation par le dessous en installant un plafond rapporté (figure 154).

L'isolation est réalisable en vrac avec des flocons de laines minérales, de la ouate de cellulose ou tout autre matériau adapté à ce mode d'application.
Le plafond rapporté est installé avec des suspentes sur les entraits des fermettes. La réalisation doit être soignée pour garantir l'étanchéité à l'air. Un pare-vapeur rapporté assurera une bonne étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau. Il subsistera néanmoins des ponts thermiques ponctuels dus aux éléments de charpentes eux-mêmes, cependant leur impact reste négligeable. Les chiffres indiqués dans les exemples qui suivent tiennent compte de ces ponts thermiques.

Pour délimiter l'espace à isoler et retenir l'isolant, prévoyez des étrésillons. En cas d'isolation par l'intérieur, ils seront placés au nu intérieur des murs extérieurs. Une trappe d'accès sera aménagée. L'isolant est soufflé à la machine ou répandu. La solution par soufflage est plus performante, cependant il est préférable de confier cette opération à un professionnel.

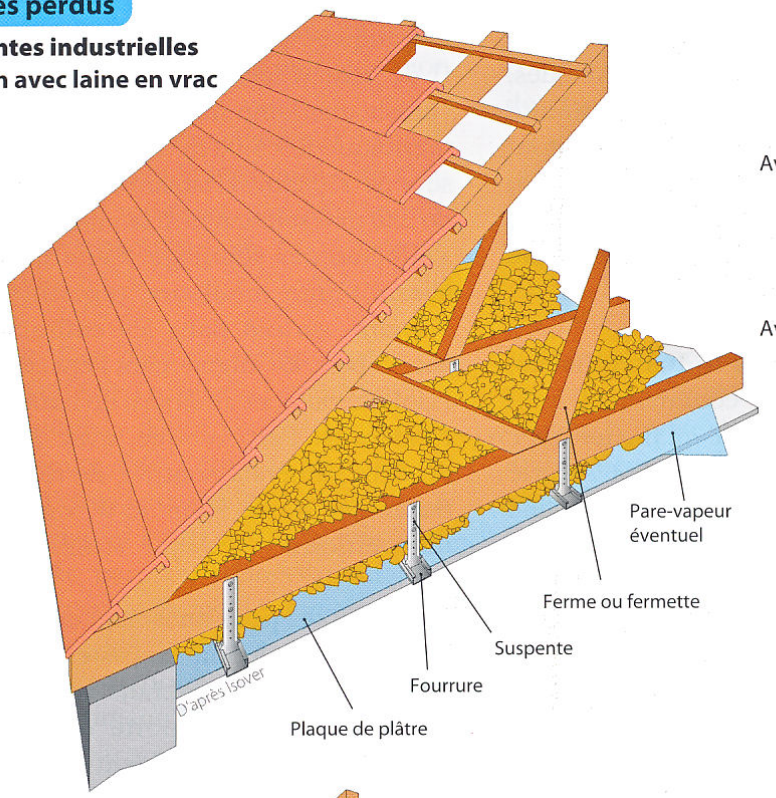
En ce qui concerne les performances thermiques, pour obtenir un coefficient U de 0,20 W/m².K, par exemple, il faut choisir une laine minérale de résistance thermique R = 5,00 m².K/W, d'une épaisseur de 250 mm si l'isolant est répandu ou de 230 mm seulement si la mise en œuvre s'effectue par soufflage. Cette méthode garantit une meilleure répartition de l'isolant, surtout dans les endroits peu accessibles. En augmentant l'épaisseur de l'isolant, on peut atteindre de hautes performances. Par exemple, avec 310 mm de laine minérale soufflée de résistance thermique R = 6,50 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,17 W/m².K.

Si vous optez pour un isolant en rouleau, la seconde solution consiste à coincer l'isolant entre les entraits des fermettes. Un plafond rapporté est installé. Il consiste en un parement en plaques de plâtre, fixé mécaniquement sur une ossature métallique. Cette solution est particulièrement utile dans certains cas, notamment les endroits difficiles d'accès par les combles. Le plafond rapporté assurera l'étanchéité à l'air de la paroi. Par conséquent son exécution devra être soignée.
Avec des isolants performants d'épaisseur suffisante, les performances thermiques sont satisfaisantes. Ainsi, avec 220 mm de laine minérale de résistance thermique R = 5,50 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,20 W/m².K. La valeur de U peut être abaissée à 0,17 W/m².K en portant l'épaisseur de la laine minérale à 260 mm, avec une résistance thermique R = 6,50 m².K/W.

Dans le cas des **charpentes traditionnelles**, on dispose généralement d'un plancher haut qui permettra d'accueillir l'isolant (figure 155). Il suffit alors de

Combles perdus

Charpentes industrielles
Isolation avec laine en vrac



Up : 0,17

Avec laine minérale soufflée :
R = 6,50 m².K/W
épaisseur = 310 mm

Up : 0,20

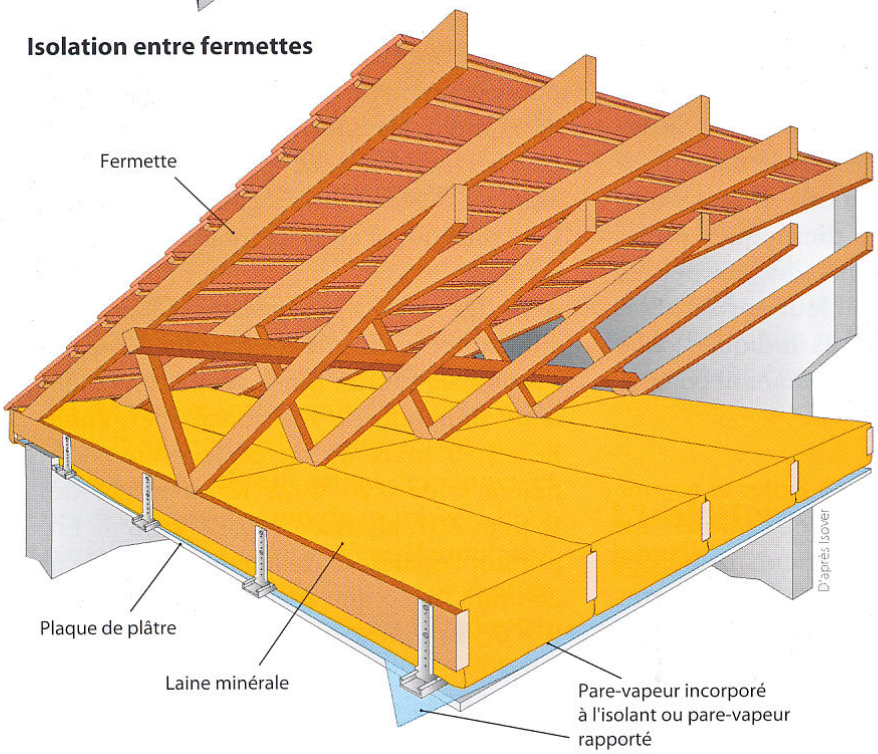
Avec laine minérale soufflée :
R = 5,00 m².K/W
épaisseur = 230 mm

ou

laine minérale à épandre :
R = 5,00 m².K/W
épaisseur = 250 mm

★★★★★

Isolation entre fermettes



Up : 0,17

Avec laine minérale :
R = 6,50 m².K/W
épaisseur = 260 mm

Up : 0,19

Avec laine minérale :
R = 6,00 m².K/W
épaisseur = 240 mm

Up : 0,20

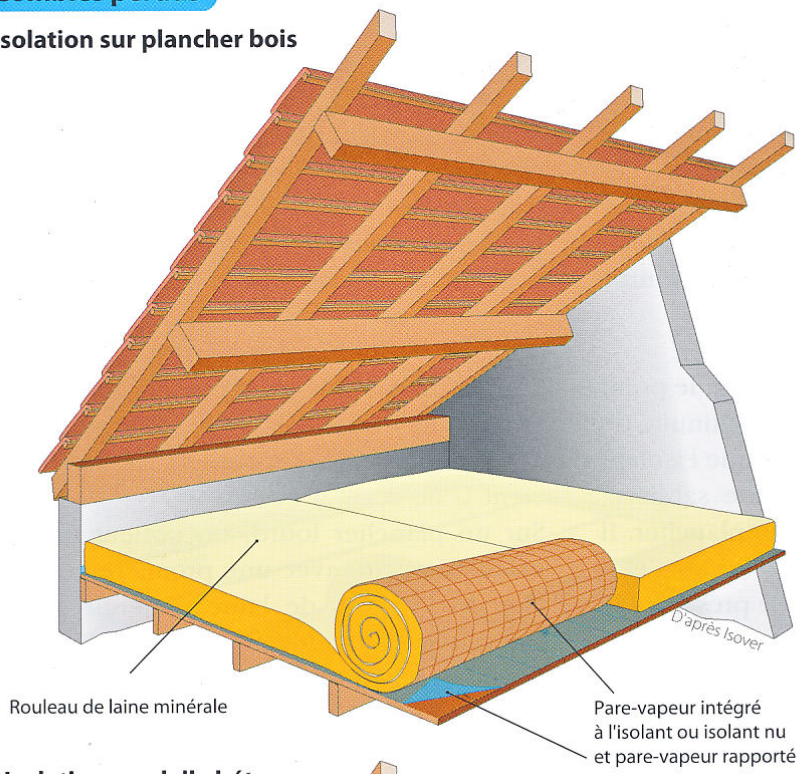
Avec laine minérale :
R = 5,50 m².K/W
épaisseur = 220 mm

★★★☆☆

Figure 154 : L'isolation des combles perdus avec une charpente industrialisée

Combles perdus

Isolation sur plancher bois



Up : 0,17

Avec laine minérale :
R = 5,50 m².K/W
épaisseur = 220 mm

★★★☆☆

Isolation sur dalle béton

Up : 0,15

Avec laine minérale :
R = 6,50 m².K/W
épaisseur = 260 mm

Up : 0,17

Avec laine minérale en deux couches croisées :
couche 1
R = 2,50 m².K/W
épaisseur = 100 mm
+
couche 2
R = 3,00 m².K/W
épaisseur = 120 mm

★★★★☆

Figure 155 : L'isolation des combles perdus avec une charpente traditionnelle

poser des rouleaux ou des panneaux isolants dans les combles, à même le sol. Si l'isolant ne dispose pas de pare-vapeur intégré, prévoyez-en un indépendant à poser avant l'isolant, ce qui constitue la meilleure solution. Les lés ou panneaux d'isolants doivent être parfaitement jointifs afin d'éviter tout pont thermique, potentiellement source de condensation.

En cas d'isolation par l'extérieur, le point important à respecter est la continuité de l'isolation. Il faut veiller à ce que l'isolant passe au-dessus de la panne sablière, pour rejoindre l'isolation du plancher. Il ne faut pas, cependant, coller aux éléments de couverture afin de préserver la ventilation de la charpente.
Un autre pont thermique devra être traité. Il se produira au niveau du pignon puisque le mur empêchera la continuité de l'isolation extérieure située de l'autre côté. Un début de solution consiste à augmenter le parcours de ce pont thermique afin de l'affaiblir. À cet effet, prévoyez une isolation également du côté intérieur du pignon, sur une hauteur de 0,90 à 1,00 m minimum, ou, mieux, sur toute la hauteur du pignon, si cela est possible techniquement et financièrement. Des complexes isolants à coller conviendront parfaitement.
Au sol, pour une meilleure efficacité, prévoyez deux couches croisées d'isolant. La seconde, posée perpendiculairement à la première, ne nécessite pas de pare-vapeur. Il n'y aura pas de ponts thermiques ponctuels.

L'inconvénient avec ce type d'isolation est que l'on condamne totalement l'usage futur du grenier.
Si le plancher supérieur est lourd (dalle béton, plancher sur hourdis en béton ou en terre cuite), l'inertie thermique sera assurée. Dans le cas d'un plancher léger, l'inertie sera insuffisante. Il est alors préférable de choisir un isolant adapté offrant une bonne inertie. Les exemples suivants retiennent la solution des isolants en rouleaux ou en panneaux, cependant, il est tout à fait possible de choisir une mise en œuvre par soufflage.

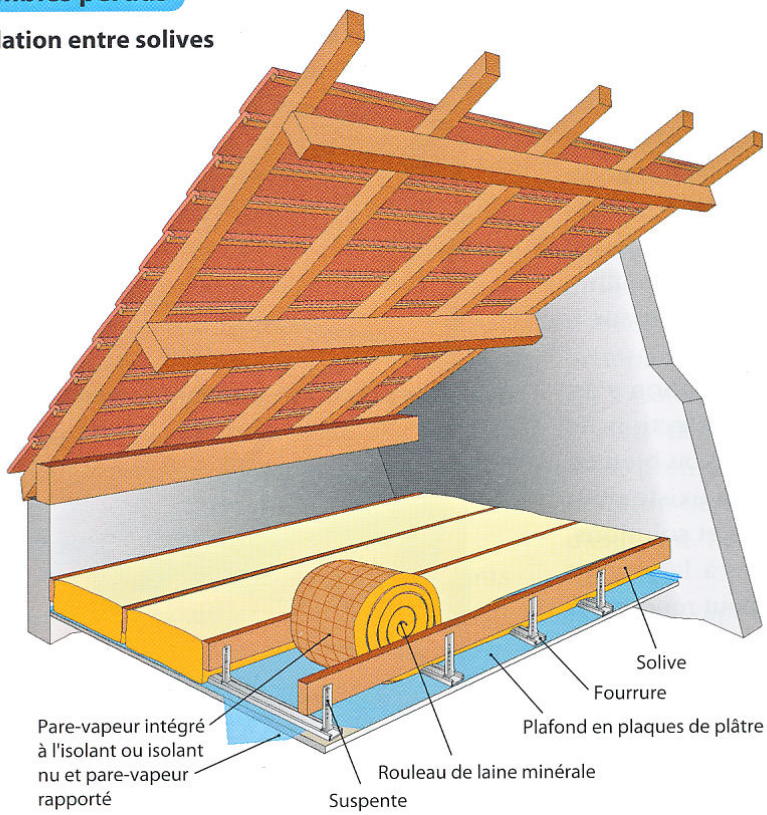
Sur un plancher léger, avec 220 mm de laine minérale de résistance thermique R = 5,50 m^2.K/W, on obtient un coefficient U de 0,17 W/m^2.K.
Sur un plancher lourd, on obtient une valeur similaire avec une première couche de 100 mm de laine minérale de résistance thermique R = 2,50 m^2.K/W, plus une seconde couche de 120 mm de laine minérale de résistance thermique R = 3,00 m^2.K/W.

Avec une laine minérale de 260 mm d'épaisseur et de résistance thermique R = 6,50 m^2.K/W, le coefficient U passe à l'excellent niveau de 0,15 W/m^2.K.
Dans le cas d'un projet neuf ou de rénovation lourde, il est également possible d'adopter la solution de l'isolation entre solives, à l'instar des charpentes industrialisées, avec un plafond rapporté sur ossature métallique (figure 156). Ce choix permet des finitions rapides, côté intérieur, sans qu'il soit besoin de créer de plancher, côté grenier. Naturellement, pour profiter du grenier ou créer un espace de stockage en appui sur les solives, il est aussi possible de réaliser un plancher.

Entre les solives, prévoyez un isolant en rouleaux avec pare-vapeur. L'isolant doit être légèrement plus large que les espaces afin d'assurer une mise en place

Combles perdus

Isolation entre solives



Up : 0,17

Avec laine minérale :
R = 6,50 m².K/W
épaisseur = 260 mm

Up : 0,22

Avec laine minérale :
R = 5,00 m².K/W
épaisseur = 200 mm

★★★★☆

Figure 156 : L'isolation entre solives des combles perdus

suffisamment compacte et ne pas créer de ponts thermiques supplémentaires sur les côtés. En effet, des ponts thermiques ponctuels subsisteront du fait de la présence des solives. L'étanchéité à la vapeur d'eau par diffusion n'est pas assurée. Il faut pour cela un pare-vapeur rapporté.

Avec une laine minérale de 200 mm d'épaisseur de résistance thermique R = 5,00 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,22 W/m².K. Ce coefficient peut être diminué à 0,17 W/m².K en choisissant une laine minérale de 260 mm d'épaisseur et de résistance thermique R = 6,50 m².K/W. Pour assurer l'inertie thermique, il convient de choisir des isolants présentant cette propriété. Cela est particulièrement important pour le confort d'été. Grâce à l'isolation et à l'inertie, on met ainsi les combles à profit pour créer un espace tampon protégeant la partie habitable. La surchauffe est limitée en cas de fortes températures, ce qui est l'un des avantages des combles perdus par rapport aux combles aménageables.

L'isolation des combles aménageables

Lorsque l'on souhaite profiter des combles pour créer une nouvelle surface habitable, la principale difficulté consiste

à libérer un maximum de volume intérieur, tout en assurant des performances thermiques satisfaisantes pour apporter un confort optimal. Le principe consiste à réaliser l'isolation directement au niveau des éléments de charpente. Malheureusement, isoler uniquement l'espace entre les chevrons n'est pas suffisant. Il est nécessaire d'isoler également les chevrons par le dessous ou par le dessus.

Naturellement, cette dernière option n'est envisageable qu'en cas de réfection de la toiture ou de la couverture ou bien en cas de construction neuve. Il existe pour cela de nombreux procédés et solutions. Ils permettent de répondre à la plupart des cas de figure que l'on peut rencontrer pour isoler ses combles aménageables. Quelle que soit la solution choisie, il est un paramètre fondamental à respecter pour éviter les problèmes ultérieurs, c'est la ventilation de la toiture. En effet, l'isolant ne doit jamais être installé directement contre la couverture ou contre les liteaux qui la supportent. Il faut respecter un espace pour permettre la ventilation minimale constante qui évitera les désordres dus à la condensation. À cet effet, plusieurs cas de figure peuvent se présenter comme illustré à la figure 157.

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur en deux couches, soit une couche entre les chevrons et une autre sous les chevrons, il convient de respecter certaines dispositions en fonction des éléments installés. Si la toiture n'est pas équipée d'un film pare-pluie, l'isolant ne doit pas occuper toute la hauteur des chevrons. Il faut respecter un espace de ventilation minimal de 2 cm, côté toiture. Si l'on utilise un écran sous toiture imperméable à la vapeur d'eau, il faut prévoir obligatoirement un espace de ventilation au

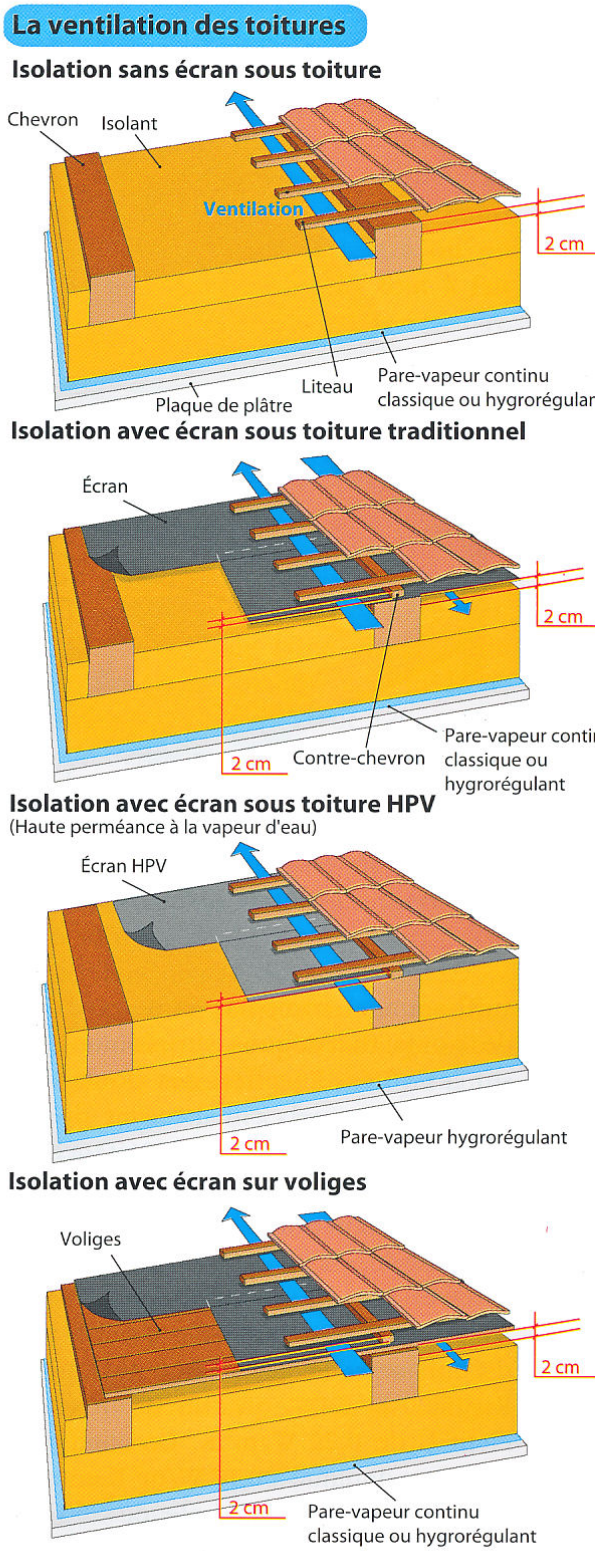


Figure 157 : La ventilation des toitures

niveau des chevrons. L'écran sera installé sur les chevrons, sous la toiture. La réalisation d'un contre-chevronnage sera nécessaire. Il servira de support pour la fixation des liteaux ce qui créera ainsi un second espace de ventilation, également de 2 cm au minimum. Il faut utiliser un pare-vapeur continu rapporté, étanche ou hygrorégulant, pour éviter tout risque de condensation interne.

Dans le cas d'une couverture réalisée sur voligeage, il convient toujours de respecter les mêmes espaces de ventilation, adaptés à la présence éventuelle d'un écran sous toiture traditionnel.
Il est à noter que des produits innovants permettent d'utiliser toute la hauteur disponible entre les chevrons, pour l'isolation, sans créer d'espaces de ventilation. Le procédé est fondé sur un écran sous toiture et un pare-vapeur capable de maîtriser efficacement le transfert de la vapeur d'eau et ainsi d'éviter tout risque de condensation dans la charpente. L'écran sous toiture, dit HPV (à haute perméance à la vapeur d'eau), empêche l'eau liquide de traverser, par exemple en cas de fuite de la toiture, tout en laissant passer l'eau sous forme de vapeur. L'écran doit être installé conjointement à un pare-vapeur hygrorégulant.

La particularité de ces pare-vapeur est leur capacité à adapter leur perméance en fonction de l'humidité relative. Ils se comportent comme des pare-vapeur classiques tant que l'humidité relative est inférieure à 60 %, soit des conditions normales dans les logements en hiver. Les flux de vapeur d'eau vers la charpente et la toiture sont donc diminués. Lorsque l'humidité relative augmente, comme c'est souvent le cas en été, les pare-vapeur hygrorégulants laissent transiter la vapeur d'eau vers l'intérieur, ce qui permet l'assèchement des éléments de charpente. Le taux d'humidité dans les constructions est limité. Pendant 3 ans, une étude hygrothermique a été menée par le CSTB pour calculer le taux d'humidité dans les différents éléments de la paroi (parements, bois, isolant), sous différents climats. L'étude montre que les risques de condensation à l'intérieur des matériaux sont sensiblement diminués. Il est à noter que, pour un maximum d'efficacité des échanges hygrothermiques, il est préférable de ne pas appliquer de peinture ou un film étanche à la vapeur d'eau sur l'ensemble des parois intérieures.
Les pare-vapeur hygrorégulants contribuent également à l'étanchéité à l'air de la construction.

Ils sont valables dans tous les cas de figure, en lieu et place d'un pare-vapeur traditionnel, sans écran sous toiture ou avec écran imperméable à la vapeur d'eau. Avec des pare-vapeur classiques, la ventilation de la toiture doit être respectée sur chaque pan. En partie basse, l'arrivée de la ventilation peut être directe ou assurée par des grilles placées dans les lambris de sous-face du débord de la toiture. En partie haute, elle s'effectue au moyen de tuiles chatières ou des faîtières non scellées fixées par clipsage.

L'isolation monocouche des combles aménageables

Dans ce cas de figure, il s'agit de poser une seule couche d'isolant sous les chevrons ou les fermettes. Celle-ci est maintenue par les suspentes et les fourrures de l'habillage rapporté, qui consiste le plus souvent en un parement de plaques

de plâtre (figure 158). L'avantage de cette solution est une mise en œuvre simple et rapide. Il suffit de choisir un isolant thermique doté d'un pare-vapeur intégré ou de prévoir un pare-vapeur rapporté pour une meilleure étanchéité à la vapeur d'eau. La pose s'effectue par l'intérieur, en neuf comme en rénovation.

En isolation par l'intérieur, l'isolant sera posé en partie verticale ou pied droit, au niveau du pan coupé. S'il y a des fermettes, il sera posé également sur le sol. Il faudra isoler aussi les pignons selon les solutions existantes pour les parois verticales, c'est-à-dire avec des doublages collés ou une isolation sur ossature métallique.

Dans le cas d'une isolation par l'extérieur, il faudra veiller à assurer la continuité entre les deux couches d'isolant, intérieure et extérieure, tout en prenant soin de réserver un espace pour la ventilation de la toiture.
Dans le cas d'une isolation répartie, il suffit d'appliquer la même méthode que pour une isolation par l'intérieur. Le reproche que l'on peut faire à cette solution est la perte de volume qu'elle engendre dans les combles, puisque l'isolant est situé sous la structure de la charpente et de surcroît dans une forte épaisseur en raison des performances thermiques à atteindre.

Une mise en œuvre soignée est indispensable pour assurer la meilleure étanchéité possible à l'air et à la vapeur d'eau. Si la réalisation n'est pas impeccable, des fuites d'air pourront persister au niveau du sol, des pignons et des pannes. La meilleure solution consiste à choisir un pare-vapeur rapporté et de prévoir le traitement de tous les points singuliers.

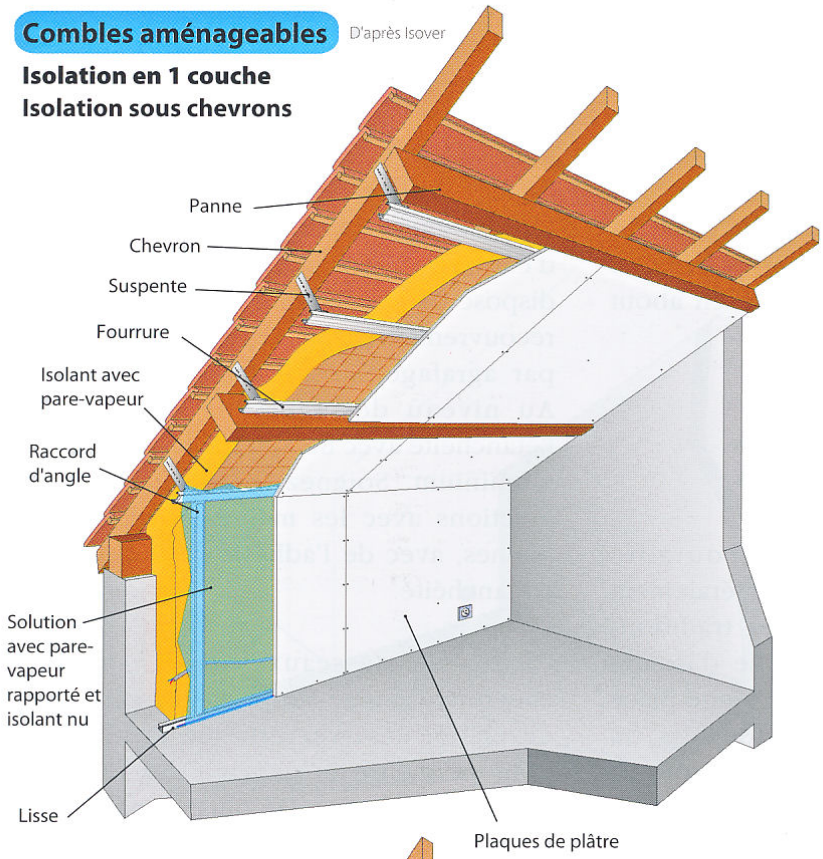
Les réseaux et canalisations diverses pourront cheminer entre l'isolant et le parement.
Prévoyez également suffisamment de mastic acrylique souple pour réaliser les raccords entre les plaques de plâtre et les pannes. Un mode de rebouchage dur créerait des fissures à ce niveau, à cause des variations dimensionnelles du bois dues à l'hygrométrie.

Dans le cas d'une charpente traditionnelle, il faudra installer la structure métallique entre les pannes, qui seront source de ponts thermiques ponctuels sur toute leur surface.
En rénovation, lorsque les pannes ne sont pas rectilignes ou si elles sont mal équarries, les opérations de découpe seront longues et délicates. Les chutes de matériau seront plus nombreuses. La coupe des plaques de plâtre sera aussi plus difficile.

En ce qui concerne les performances thermiques, avec une laine minérale de 220 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 5,50 m².K/W, on peut obtenir un coefficient U de 0,20 W/m².K. Ce coefficient peut être diminué à 0,18 W/m².K avec une laine minérale de 240 mm d'épaisseur et de résistance thermique R = 6 m².K/W.
Si la structure se compose de fermettes, il n'y a plus de phénomènes de ponts thermiques au niveau des pannes, contrairement aux charpentes traditionnelles. Ceux qui subsisteront seront dus aux seules suspentes de l'ossature métallique, mais leur impact restera minime. C'est la solution la plus courante dans ce cas de figure.
En mettant en œuvre 190 mm de laine minérale de résistance thermique R = 5,40 m².K/W, on atteint un coefficient

Combles aménageables D'après Isover

Isolation en 1 couche
Isolation sous chevrons



Up : 0,18

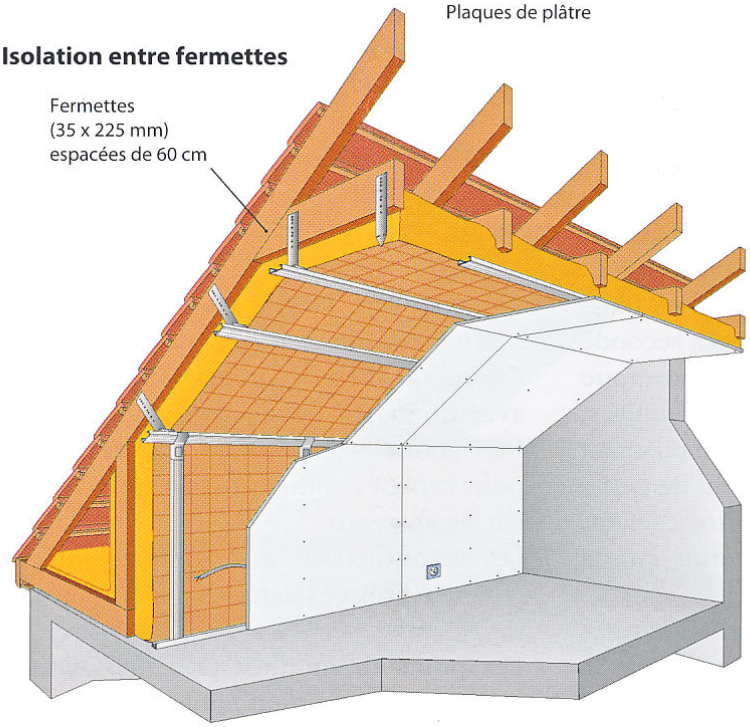
Avec laine minérale :
R = 6,00 m².K/W
épaisseur = 240 mm

Up : 0,20

Avec laine minérale :
R = 5,50 m².K/W
épaisseur = 220 mm

★★★★☆

Isolation entre fermettes



Up : 0,19

Avec laine minérale :
R = 5,70 m².K/W
épaisseur = 200 mm

Up : 0,20

Avec laine minérale :
R = 5,40 m².K/W
épaisseur = 190 mm

★★★★☆

Figure 158 : L'isolation monocouche des combles aménageables

U de 0,20 W/m².K. Ce niveau peut être abaissé à 0,19 W/m².K avec une laine minérale de 200 mm de résistance thermique R = 5,70 m².K/W.
Derrière le pied droit des fermettes, le sol du comble doit également recevoir une couche d'isolant thermique. En isolation par l'intérieur, si le plancher est lourd, il subsistera un pont thermique en about de dalle.

L'isolation en deux couches des combles aménageables

Il s'agit de la méthode courante (figure 159). C'est le choix généralement retenu pour les charpentes traditionnelles. Une première couche d'isolant thermique sans pare-vapeur prend place entre les chevrons. Comme toujours, un espace de 2 cm est respecté du côté de la couverture pour permettre la ventilation. Par conséquent, c'est l'épaisseur des chevrons qui détermine l'épaisseur maximale de la première couche d'isolant à mettre en œuvre.
La seconde couche d'isolant doit être munie d'un pare-vapeur, de préférence rapporté, placé du côté chauffé. Elle recouvrira la première couche et sera maintenue par les suspentes et les fourrures de l'ossature métallique. La seconde couche est généralement interrompue au niveau des pannes intermédiaires. Toutefois, si la seconde couche d'isolant est épaisse et si les pannes sont de petite section, celles-ci pourront être cachées par le parement et recouvertes par le pare-vapeur.
Les systèmes d'ossature sont pratiques également pour couper la pente de la toiture, en partie haute pour créer un plafonnage horizontal. Reportez-vous page 593 pour plus de détails.

Il est également possible de créer une ossature en bois avec un contre-chevronnage fixé perpendiculairement aux chevrons.

Cette solution est fondée sur un isolant muni d'un pare-vapeur kraft/aluminium, très résistant à la migration de la vapeur d'eau. Le pare-vapeur collé à l'isolant dispose de languettes qui permettent le recouvrement des raccords et la fixation par agrafage sur les contre-chevrons. Au niveau des raccords, renforcez l'étanchéité avec un adhésif pare-vapeur aluminium. Soignez les raccords aux jonctions avec les maçonneries et les pannes, avec de l'adhésif ou du mastic d'étanchéité.

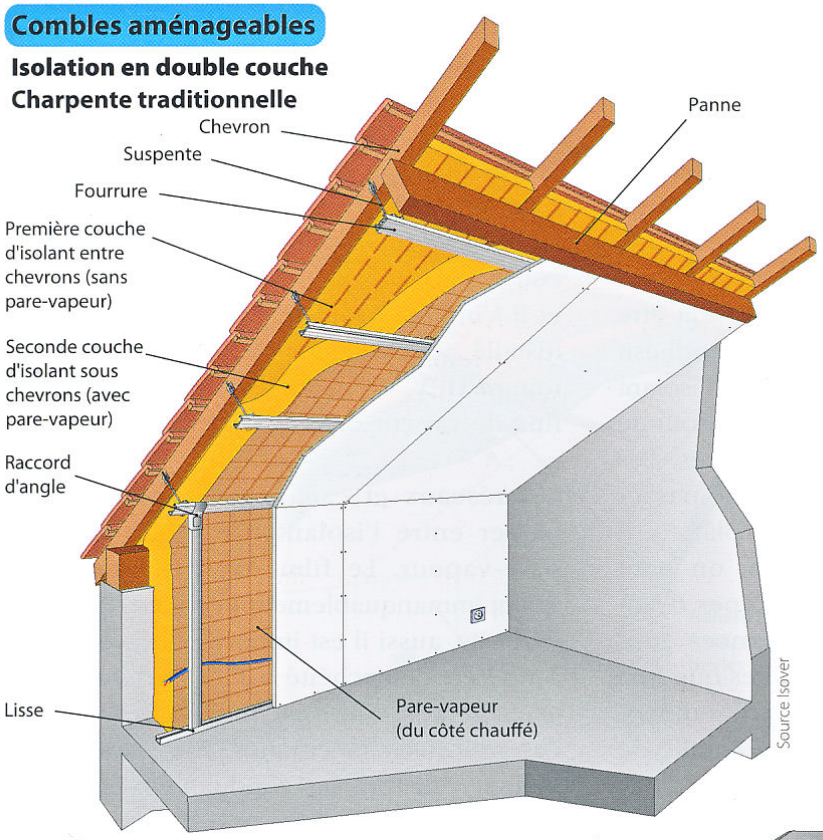
Clouez des tasseaux sur les contre-chevrons, comme supports aux plaques de plâtre. Réservez un vide technique pour permettre le passage des canalisations électriques. De plus, le pare-vapeur se trouvant en retrait du parement, vous limitez les risques de perforation accidentelles.

Les tasseaux offrent également la possibilité de poser un pare-vapeur continu rajouté (film PE, PP ou hygrorégulant). Agrafez les joints entre les lés en recouvrement sur l'ossature et renforcez l'étanchéité avec du ruban adhésif pare-vapeur. Réalisez les joints périphériques avec du mastic d'étanchéité. Cette solution autorise la pose de lambris (avec pare-vapeur continu obligatoire), cloués sur les tasseaux.
Les solutions sur contre-chevronnage sont très utilisées dans les pays d'Europe du Nord.
Les ponts thermiques ponctuels créés par les pannes restent faibles, puisque la première couche d'isolant entre les chevrons les isole un peu de l'extérieur.

Combles aménageables

Isolation en double couche

Charpente traditionnelle



Up : 0,18

Avec 1re couche de laine minérale entre chevrons :
R = 1,85 m².K/W
épaisseur = 60 mm

+

2e couche de laine minérale sous chevrons :
R = 4,35 m².K/W
épaisseur = 140 mm

ou

Avec 1re couche de laine minérale entre chevrons :
R = 1,50 m².K/W
épaisseur = 60 mm

+

2e couche de laine minérale sous chevrons :
R = 5,00 m².K/W
épaisseur = 160 mm

Up : 0,19

Avec 1re couche de laine minérale entre chevrons :
R = 1,70 m².K/W
épaisseur = 60 mm

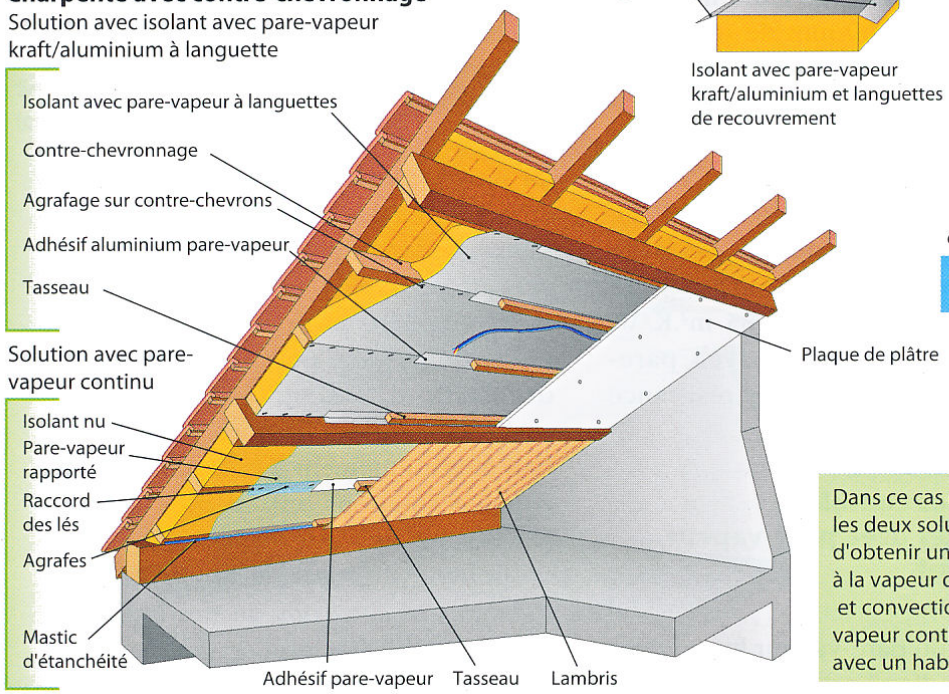
+

2e couche de laine minérale sous chevrons :
R = 4,00 m².K/W
épaisseur = 140 mm

★★★★☆

Charpente avec contre-chevronnage

Solution avec isolant avec pare-vapeur kraft/aluminium à languette



Dans ce cas de figure, les deux solutions permettent d'obtenir une bonne résistance à la vapeur d'eau (par diffusion et convection). Seul un pare-vapeur continu est autorisé avec un habillage en lambris.

Figure 159 : L'isolation en deux couches des combles aménageables

Comme dans le cas d'une charpente traditionnelle, en isolation par l'intérieur, il est nécessaire d'isoler également le pied droit et la partie du sol située derrière, le cas échéant. En isolation par l'extérieur, il faudra veiller à assurer la continuité de l'isolation entre les deux côtés des murs. De même, il ne faut pas négliger la continuité du pare-vapeur, qui doit être assurée avec des bandes de ruban adhésif collées entre les lés. Les bords de l'isolant devront être parfaitement jointifs pour de ne pas dégrader les performances. Les réseaux domestiques pourront passer entre l'isolant et la plaque de plâtre.
Pour ce mode d'installation, on peut choisir parmi les nombreux types d'isolants adaptés. Les performances sont légèrement supérieures à celles que l'on peut atteindre avec une isolation monocouche, sans perte de volume inutile du comble.
Pour les performances thermiques, avec une première couche de laine minérale entre chevrons de 60 mm de résistance thermique R = 1,70 m^2.K/W, puis une seconde couche avec pare-vapeur de 140 mm (R = 4,00 m^2.K/W), on obtient un coefficient U de 0,19 W/m^2.K. Ce coefficient peut être diminué à 0,18 W/m^2.K avec une première couche de laine minérale entre chevrons de 60 mm, de résistance thermique R = 1,85 m^2.K/W, puis une seconde couche avec pare-vapeur de 140 mm avec une résistance thermique R = 4,35 m^2.K/W.

L'isolation des combles aménageables avec pare-vapeur hygrorégulant

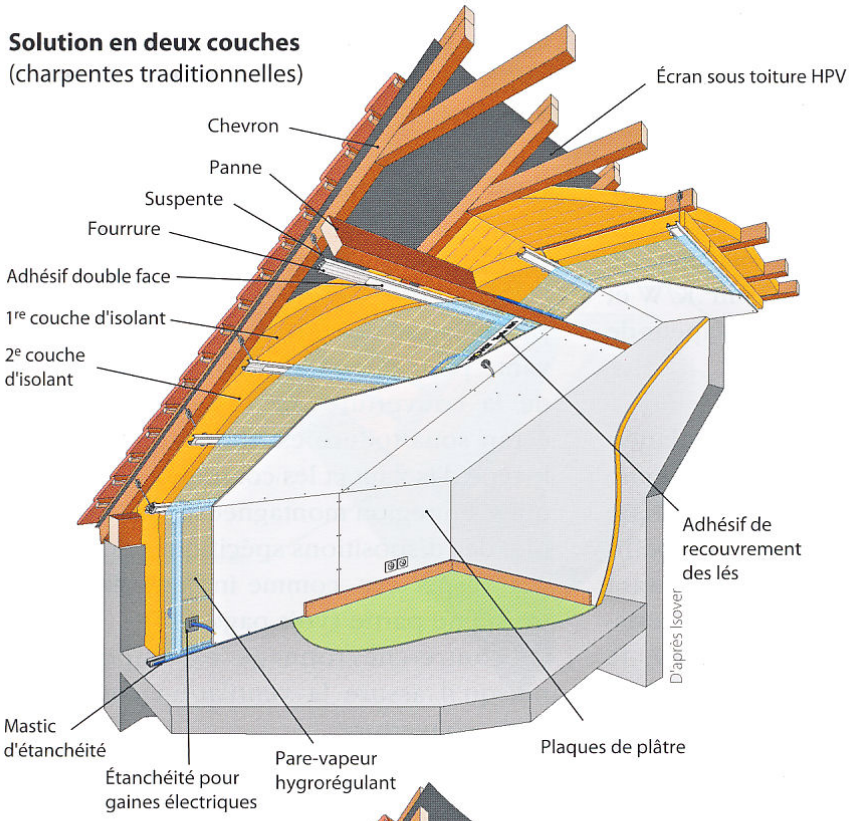
L'utilisation d'un pare-vapeur hygrorégulant, comme indiqué précédemment (voir figure 157), est une solution adaptée pour l'isolation des combles aménageables aussi bien monocouche qu'en deux couches (figure 160).
Il s'agit de la meilleure solution pour assurer la parfaite étanchéité à l'air, et à la vapeur d'eau par convection, de cette partie de l'habitation. Peu importe si l'isolant thermique est posé en une ou deux couches. Le pare-vapeur est indépendant et il s'installe avant le parement. S'il est installé conjointement à un écran sous toiture HPV, on maîtrise parfaitement le flux de vapeur dans la charpente.

Les réseaux et canalisations pourront passer entre l'isolant thermique et le pare-vapeur. Le film sera par conséquent immanquablement percé en divers endroits, aussi il est important de veiller à rétablir l'étanchéité à l'air partout où cela est nécessaire au moyen de rosaces adhésives spécifiques. Il en sera de même pour tous les conduits traversant le pare-vapeur (gaines de VMC, etc.).
Pour solidariser le pare-vapeur à l'ossature métallique, on colle de l'adhésif double face sur les fourrures. Les lés doivent se chevaucher et leurs jonctions doivent également être étanchéifiées au moyen de ruban adhésif. Enfin, les raccords situés au niveau des pannes, des pignons et du sol doivent être collés avec un cordon de mastic spécifique. De même, la lisse basse de l'ossature des pieds droits sera posée sur un cordon de mastic d'étanchéité. Le parement, classiquement des plaques de plâtre, est fixé mécaniquement à l'ossature comme dans les solutions précédentes.
L'avantage de cette solution est aussi de pouvoir disposer de la totalité de la hauteur des chevrons ou des fermettes, ce qui permet de profiter au maximum du volume intérieur des combles.
En ce qui concerne les performances thermiques, pour une isolation en deux

Combles aménageables

Isolation avec pare-vapeur indépendant hygrorégulant

Solution en deux couches
(charpentes traditionnelles)



Up : 0,16

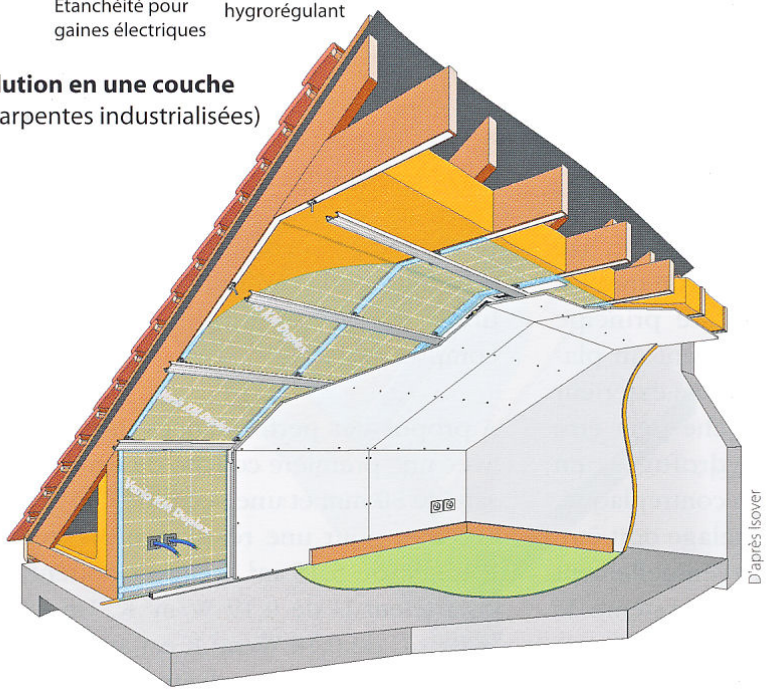
Avec 1re couche de laine minérale entre chevrons :
R = 2,25 m².K/W
épaisseur = 80 mm
+
2e couche de laine minérale sous chevrons :
R = 4,55 m².K/W
épaisseur = 160 mm

Up : 0,18

Avec 1re couche de laine minérale entre chevrons :
R = 2,25 m².K/W
épaisseur = 80 mm
+
2e couche de laine minérale sous chevrons :
R = 4,00 m².K/W
épaisseur = 140 mm

★★★★☆

Solution en une couche
(charpentes industrialisées)



Up : 0,17

Avec laine minérale :
R = 6,25 m².K/W
épaisseur = 220 mm

Up : 0,19

Avec laine minérale :
R = 5,70 m².K/W
épaisseur = 200 mm

★★★★☆

Figure 160 : L'isolation des combles avec pare-vapeur hygrorégulant

couches sur charpente traditionnelle, avec une première couche de laine minérale entre chevrons de 80 mm, de résistance thermique R = 2,25 m².K/W et une seconde couche sans pare-vapeur de 140 mm (R = 4 m².K/W), on obtient un coefficient U de 0,18 W/m².K. Ce coefficient peut être porté à 0,16 W/m².K avec une première couche de laine minérale entre chevrons de 80 mm, de résistance thermique R = 2,25 m².K/W et une seconde couche sans pare-vapeur de 160 mm (R = 4,55 m².K/W).

Dans le cas de fermettes, en isolation monocouche, avec une laine minérale de 200 mm, de résistance thermique R = 5,70 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,19 W/m².K. En choisissant une laine minérale de 220 mm, de résistance thermique R = 6,25 m².K/W, le coefficient U descend à 0,17 W/m².K.

L'isolation extérieure des combles aménageables (sarking)

Le *sarking* (figure 161) est envisageable uniquement dans le cas d'une construction neuve ou lorsque la rénovation totale de la toiture est nécessaire. De plus, cette solution ne concerne que les charpentes traditionnelles. Le principe consiste à fixer mécaniquement un platelage sur les chevrons, du côté extérieur de la toiture. Cette surcouche peut être en plaques de plâtre hydrofuges, en panneaux de particules, en contreplaqué, en bois massif, etc. Le platelage doit être équipé d'un pare-vapeur, éventuellement hygrorégulant au moyen d'un système de fixation adapté (ruban adhésif et mastic colle). Un isolant thermique est installé sur le pare-vapeur, au minimum en deux couches croisées. Il peut s'agir d'une laine minérale, d'un plastique alvéolaire en panneaux bouvetés (polystyrène extrudé ou polyuréthane), de verre cellulaire, mais également de panneaux de fibres de bois. Vérifiez toutefois auprès du fabricant que l'isolant est adapté à ce type de pose, c'est-à-dire être non hydrophile et offrant une résistance suffisante à la compression. Le contre-chevronnage est vissé sur les chevrons en traversant l'isolant.
L'installation des liteaux sera l'étape suivante pour permettre la mise en œuvre de la couverture. Le cas échéant, un écran sous toiture est nécessaire, selon le type d'isolant et les contraintes climatiques. En région montagneuse, par exemple, des dispositions spécifiques doivent être respectées, comme indiqué dans la troisième partie (voir page 615).
Le contre-chevronnage est important puisqu'il assure la ventilation correcte de la couverture.

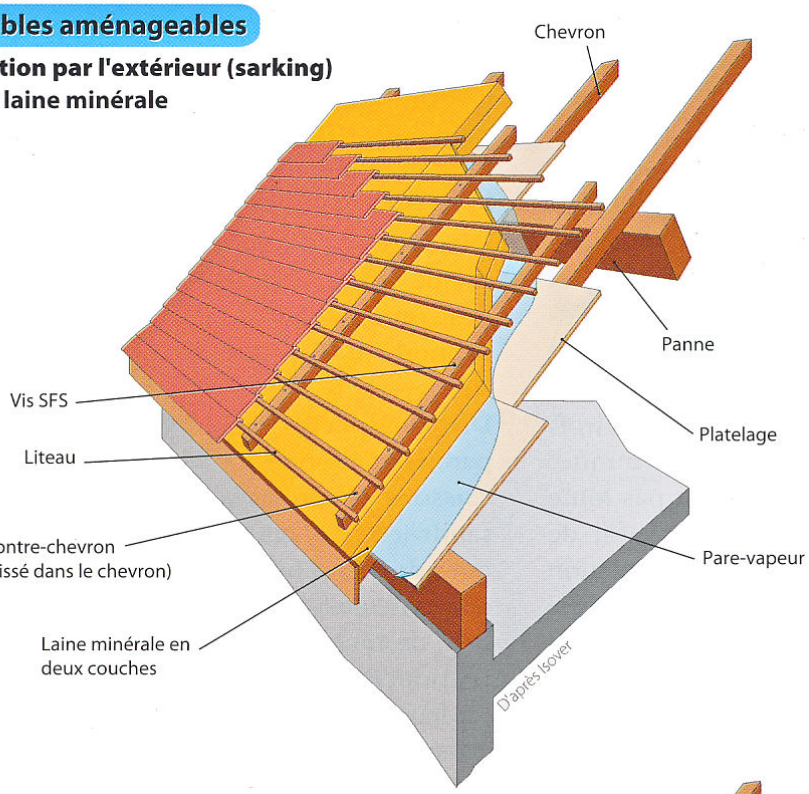
Les principaux avantages de cette solution sont l'espace totalement libéré dans les combles et la forte réduction des ponts thermiques.
S'il est nécessaire d'améliorer également l'isolation acoustique, choisissez de préférence un isolant fibreux. Pour créer de l'inertie thermique, optez pour les fibres de bois qui constituent le meilleur compromis.

À propos des performances thermiques, avec une première couche de laine minérale de 80 mm et une seconde couche de 100 mm pour une résistance thermique R totale de 5,15 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,19 W/m².K. Un coefficient U de 0,18 W/m².K est atteint avec deux couches de polystyrène extrudé (80 + 80 mm) pour une résistance thermique R totale de 5,30 m².K/W.

Combles aménageables

Isolation par l'extérieur (sarking)

Avec laine minérale

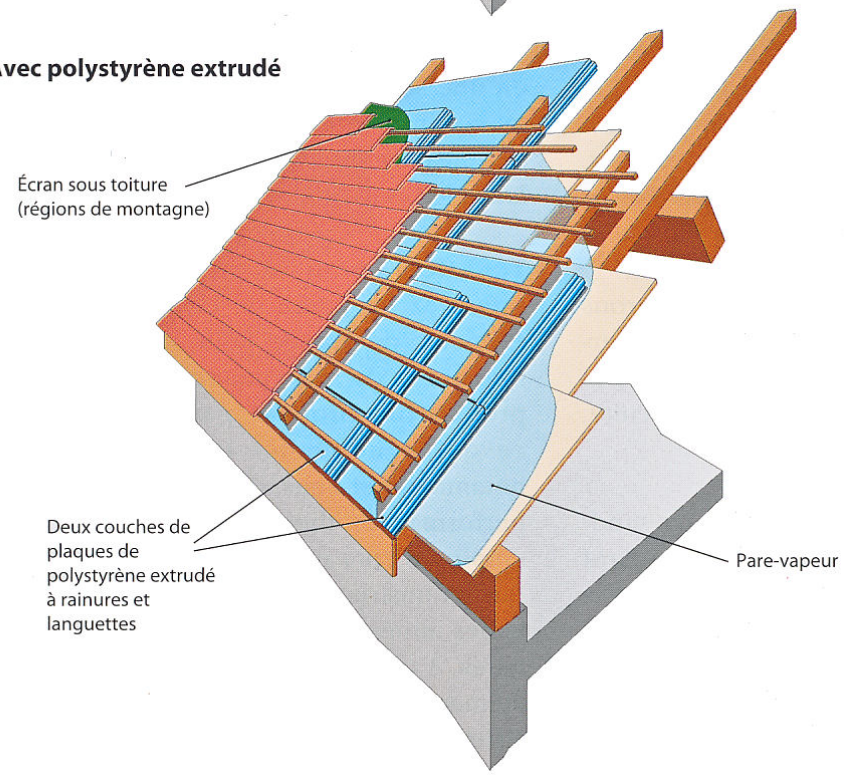


Up : 0,19

Avec deux couches de panneaux de laine minérale :
R = 5,15 m².K/W
épaisseur = 80 + 100 mm

★★★★☆

Avec polystyrène extrudé



Up : 0,18

Avec plaques de polystyrène extrudé en deux couches :
R = 5,30 m².K/W
épaisseur = 80 + 80 mm

★☆☆☆☆

Figure 161 : L'isolation des combles par l'extérieur (sarking)

L'isolation des combles avec des panneaux de toiture

Cette solution technique pour l'isolation des combles aménageables par l'extérieur nécessite des éléments manufacturés, les panneaux de toiture. Il en existe deux sortes : les caissons chevronnés et les panneaux sandwich (figure 162). Les caissons chevronnés se composent d'une sous-face décorative, qui constituera le plafond des combles, de deux ou trois chevrons et d'un isolant thermique. L'isolant thermique ne remplit pas toute la hauteur entre les chevrons afin de ménager un espace pour la ventilation de la toiture. Les panneaux sont fixés perpendiculairement et mécaniquement aux pannes. La longueur des panneaux doit correspondre si possible à celle du pan de toiture. Si tel n'est pas le cas, certains produits permettent d'effectuer des raccords au niveau des pannes. La pose des caissons doit être très soignée afin de ne pas créer de ponts thermiques entre les éléments. Malheureusement, ceux-ci, ne seront pas tous éliminés, notamment au niveau des chevrons où il subsistera des ponts thermiques ponctuels.
Les liteaux seront fixés sur les chevrons des caissons, pour accueillir la couverture. Ils sont adaptés à tous les types d'éléments de couverture : terre cuite, ardoise, zinc...

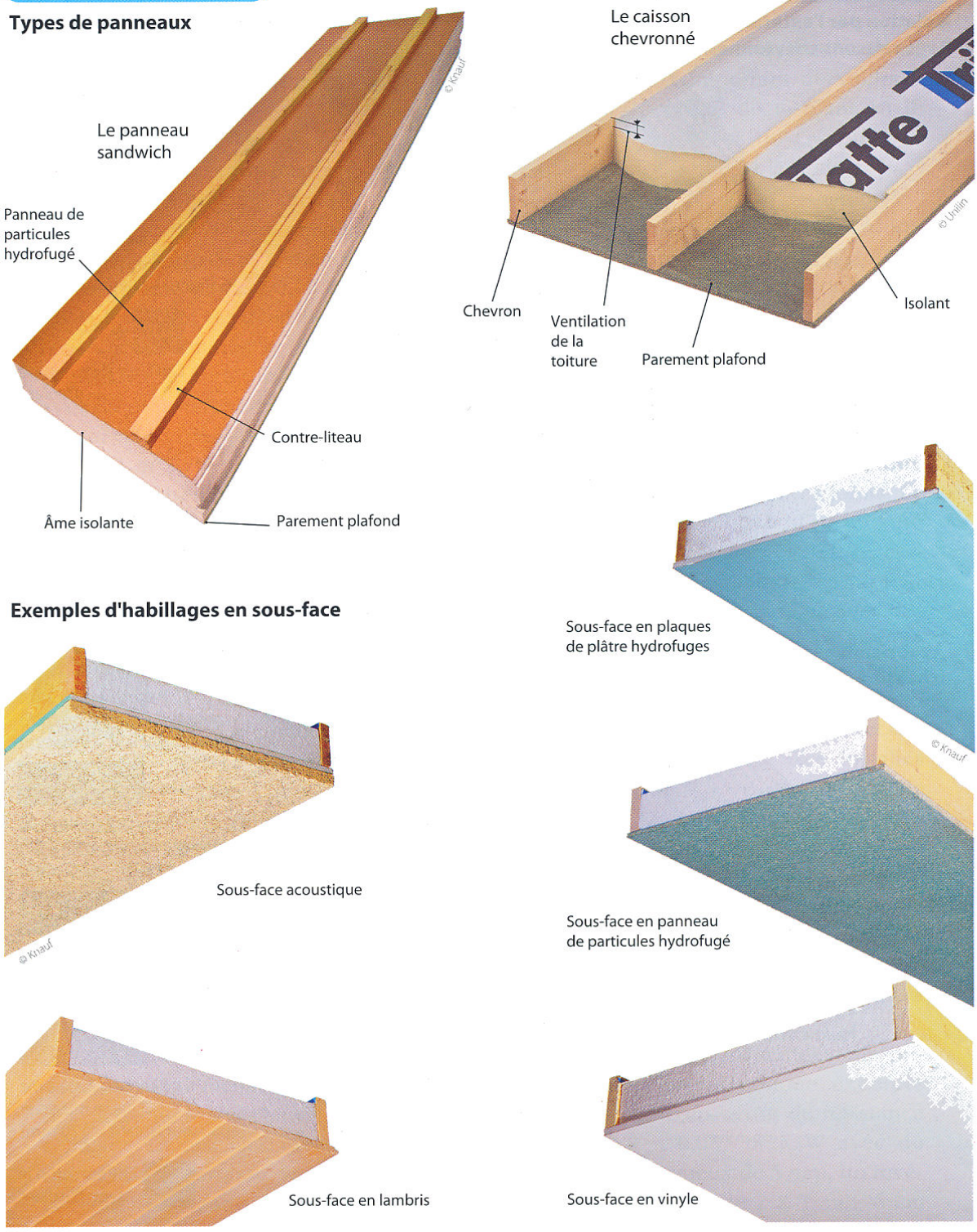
En ce qui concerne les panneaux sandwich, ils se composent d'un isolant thermique pris entre deux éléments : un parement fini est destiné au côté combles, l'autre parement consiste simplement en une plaque de panneaux de particules hydrofugés. Les éléments de bois fermant les côtés sont bouvetés afin d'assurer la parfaite étanchéité à l'air entre les panneaux. Certains panneaux sandwich sont pourvus sur leur face extérieure de chevrons ou de contre-liteaux. Dans ce cas, la pose s'effectuera sur et perpendiculairement aux pannes. Si les panneaux sont fournis nus, il est possible de les installer sur des chevrons, parallèlement aux pannes, par exemple en cas de rénovation. Ils recevront ensuite des contre-liteaux et des liteaux comme supports pour la couverture.

Divers aspects sont proposés pour le parement destiné au côté combles des caissons chevronnés et des panneaux sandwich. Il s'agit couramment de plaques de plâtre hydrofuges, de panneaux de particules, de contreplaqué, de lambris, de revêtement en vinyle, etc.
Le principal avantage de ces systèmes est leur mise en œuvre simple et rapide, puisque sur les pannes, il n'y a pas besoin de chevrons. De plus, l'isolation et la finition intérieure sont effectuées en une seule et même opération. Enfin, le volume intérieur des combles est optimisé, ce qui permet une plus grande latitude pour l'aménagement.

Toutefois, pour la mise en œuvre, prévoyez un engin de levage pour les éléments de grande taille. Le choix de l'isolant et de son épaisseur dépend du produit fini proposé par le fabricant, ce qui peut limiter les possibilités, notamment si vous souhaitez de hautes performances thermiques. Les isolants employés sont majoritairement des produits industrialisés classiques comme les laines minérales ou les plastiques alvéolaires. À noter également que, du fait des éléments en bois des panneaux, il subsiste des ponts thermiques ponctuels.
Malgré ces quelques inconvénients, les performances thermiques offrent des résultats satisfaisants (figure 163).

Les panneaux de toiture

Types de panneaux

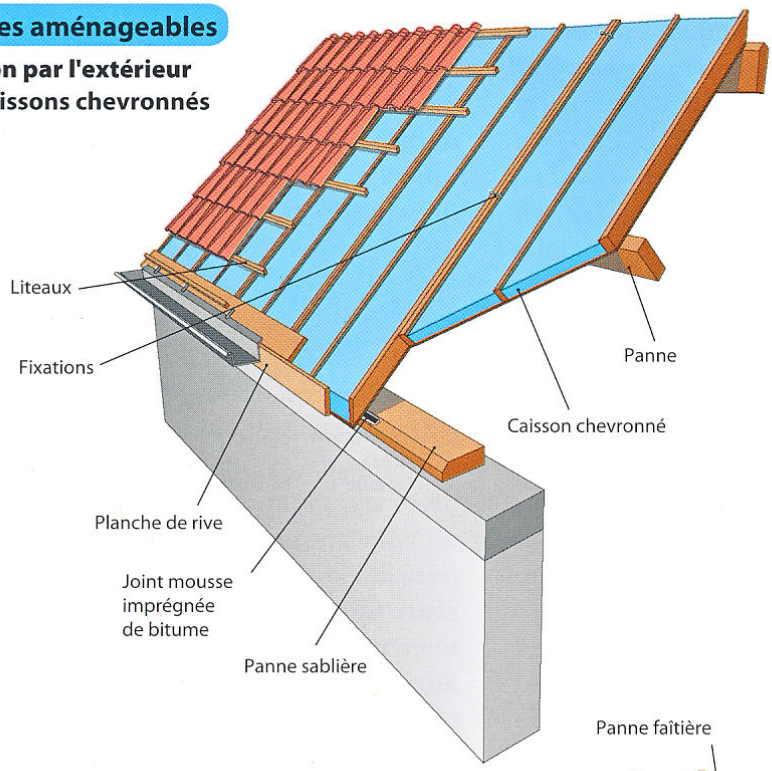


Exemples d'habillages en sous-face

Figure 162 : Les panneaux de toiture

Combles aménageables

Isolation par l'extérieur
Avec caissons chevronnés



Up : 0,20

Caisson isolé avec mousse de polyuréthane (épaisseur isolant = 150 mm)
Caisson isolé avec polystyrène expansé X Therm (épaisseur isolant = 180 mm)

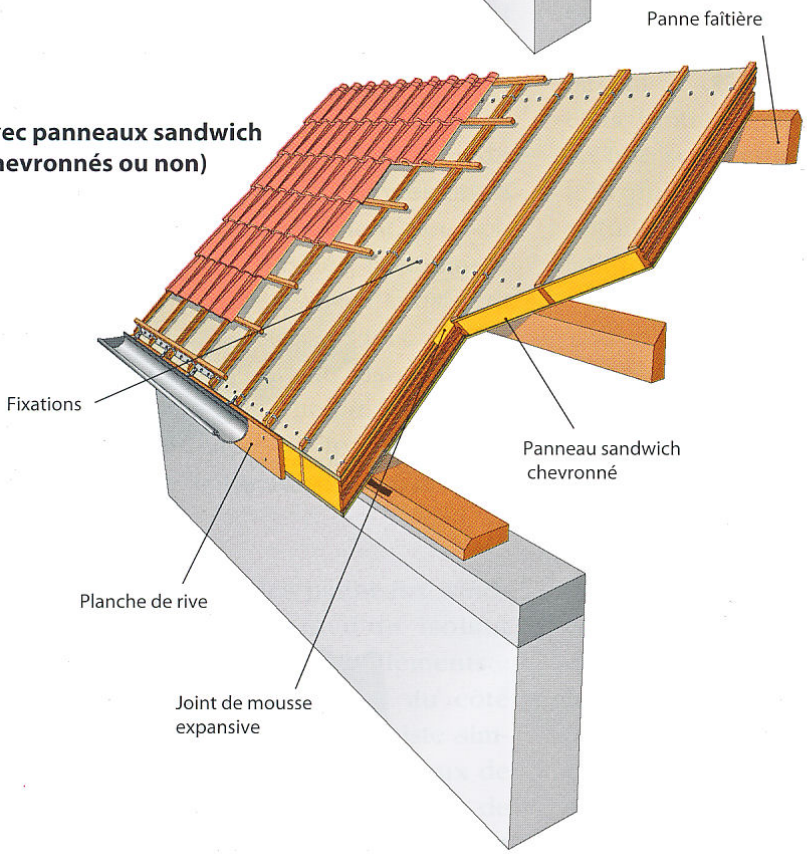
Up : 0,24

Caisson isolé avec mousse de polyuréthane (épaisseur isolant = 126 mm)

★☆☆☆☆

Diffère selon le type d'isolant

Avec panneaux sandwich (chevronnés ou non)



Up : 0,17

Panneau isolé avec polystyrène expansé (PSE) (épaisseur isolant = 200 mm)

Up : 0,19

Panneau isolé avec polystyrène expansé (PSE) (épaisseur isolant = 180 mm)

Up : 0,21

Panneau isolé avec mousse de polyuréthane (épaisseur isolant = 120 mm)

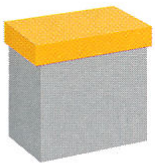
Up : 0,24

Panneau isolé avec laine minérale (épaisseur isolant = 170 mm)

Diffère selon le type d'isolant

Figure 163 : L'isolation de combles aménageables avec des panneaux de toiture

Un caisson chevronné isolé avec de la mousse de polyuréthane d'une épaisseur de 150 mm ou du polystyrène expansé XTherm de 180 mm, offre un coefficient U de 0,20 W/m².K.
En ce qui concerne les performances des panneaux sandwich, avec un élément isolé à base de mousse de polyuréthane de 120 mm d'épaisseur, on atteint un coefficient U de 0,21 W/m².K. Ce coefficient passe à 0,19 W/m².K avec du polystyrène expansé de 180 mm, de résistance thermique R = 5,49 m².K/W. Le coefficient U atteint même 0,17 W/m².K avec du polystyrène expansé de 200 mm d'épaisseur, de résistance thermique R = 6,11 m².K/W.
On peut s'attendre à ce que l'offre des fabricants se développe vers des produits aux performances encore supérieures.



L'isolation des toitures-terrasses

La réglementation impose que l'isolation des toitures-terrasses s'effectue par le dessus. Plusieurs solutions techniques sont possibles en fonction de différents critères comme le type d'isolant à mettre en œuvre, la pente, ou la destination de la terrasse, qui peut être inaccessible, accessible, végétalisée, carrossable, etc.

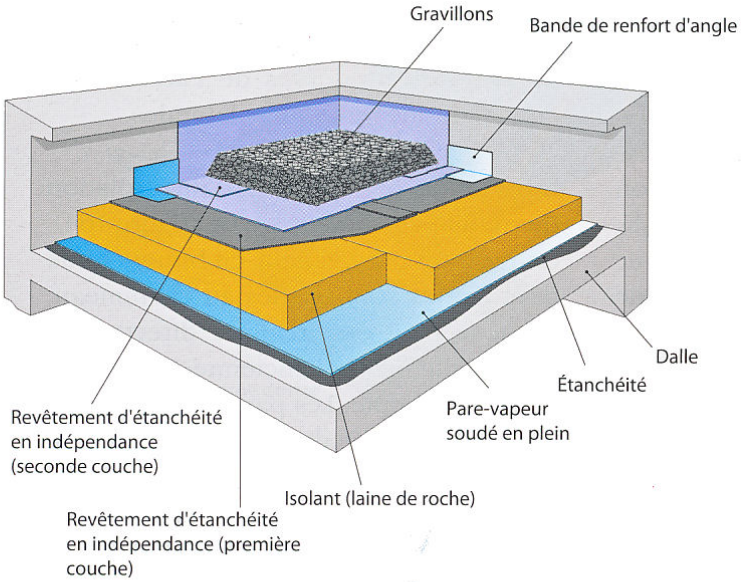
L'isolant choisi doit être résistant à la compression et à l'humidité. On utilise donc principalement des laines de roche, des plastiques alvéolaires ou du verre cellulaire. La mise en œuvre de l'isolation d'une toiture-terrasse va de paire avec la réalisation d'une parfaite étanchéité. C'est pourquoi cette opération sera de préférence confiée à un professionnel qui maîtrise parfaitement le savoir-faire et assurera une garantie sur les travaux effectués.
Si l'isolation thermique du bâtiment est extérieure, il est important de veiller à assurer la continuité de l'isolant en le prolongeant au-dessus de l'acrotère et en isolant les remontées latérales.

Dans le cas, par exemple, d'une isolation thermique en laine de roche (figure 164), on pose un pare-vapeur en bitume armé dont les lés sont soudés au chalumeau. La pose peut être réalisée directement sur la dalle ou sur l'ancienne étanchéité, si elle est simple. Les panneaux d'isolant en laine de roche de forte densité seront disposés en coupe de pierre, c'est-à-dire en prenant soin de décaler les joints. Le maintien en place de l'isolant sera assuré par le poids du gravier. Toutefois, certains fabricants recommandent pour leur produit une fixation mécanique avec des chevilles étoile. L'étanchéité est assurée par deux couches de revêtement bitumé de qualité soudable et posées en indépendance. Des remontées latérales et des renforts d'angles devront être installés conjointement. La protection lourde de l'ensemble sera assurée également par une couche de gravillons.

Dans le cas d'une terrasse accessible avec dalles sur plots, il conviendra de placer au-dessus de l'isolant un film de désolidarisation, puis le revêtement d'étanchéité bitumé.
Concernant les performances thermiques, si l'on prend comme exemple une dalle pleine en béton de résistance thermique R = 0,087 m².K/W avec un pare-vapeur bitumeux de 5 mm, un revêtement d'étanchéité de 2 x 5 mm, 6 cm de gravillons et des panneaux de laine de roche de 140 mm de résistance thermique R = 3,55 m².K/W, on obtient un

Isolation des toitures-terrasses (Source Isover)

Isolation support d'étanchéité sous protection lourde (toiture inaccessible)



Dalle en béton de 20 cm
Pare-vapeur bitumeux de 5 mm
Revêtement d'étanchéité bicouche : 2 x 5 mm
Gravillons : 6 cm

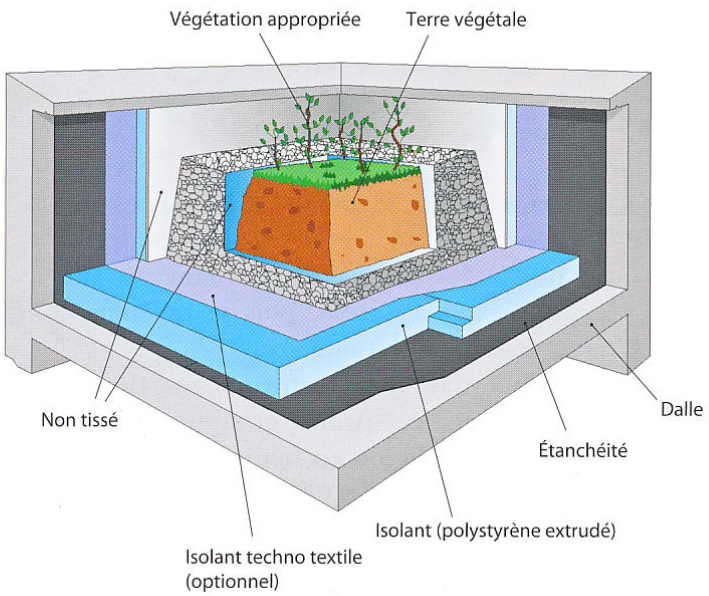
Up : 0,23

Avec panneaux de laine de roche compressée :
R = 4,10 m².K/W
épaisseur = 160 mm

Up : 0,26

Avec panneaux de laine de roche compressée :
R = 3,55 m².K/W
épaisseur = 140 mm

Isolation inversée de toiture-terrasse végétalisée



Dalle en béton de 20 cm
Étanchéité asphalte : 5 + 15 mm (R = 0,017)
Revêtement d'étanchéité bicouche : 2 x 5 mm
Drainage, filtre et substrat

Up : 0,20

Avec panneaux de polystyrène extrudé XPS :
R = 5,15 m².K/W
épaisseur = 160 mm

Up : 0,25

Avec panneaux de polystyrène extrudé XPS :
R = 4,15 m².K/W
épaisseur = 120 mm

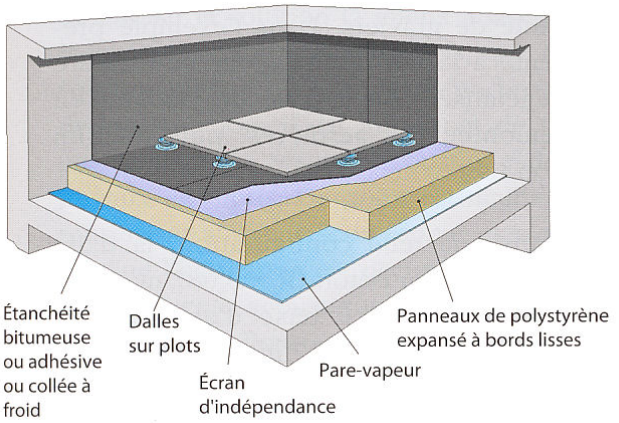
Figure 164 : L'isolation des toitures-terrasses

Toitures étanchées sur maçonnerie

(Sources : Isover et Dow)

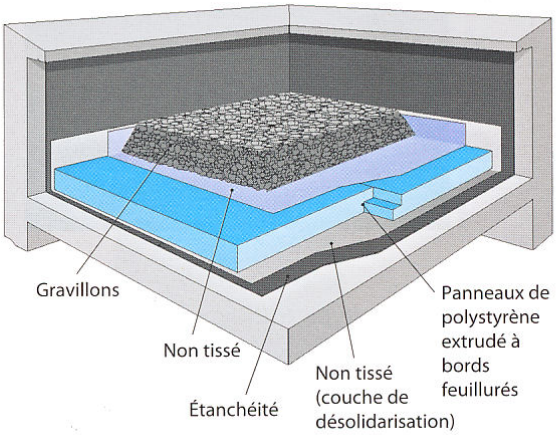
Isolation sous dalles

Isolation conventionnelle : isolant sous étanchéité

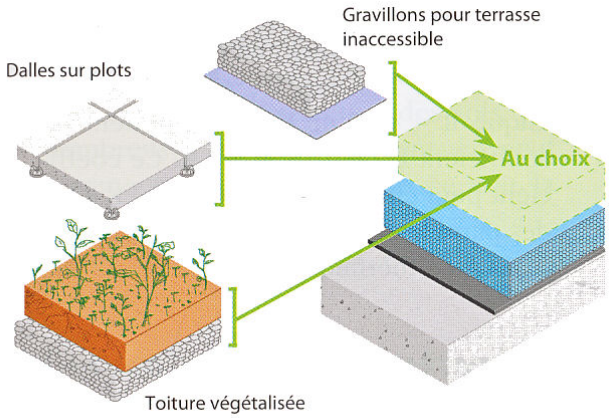


Isolation inversée sous protection lourde

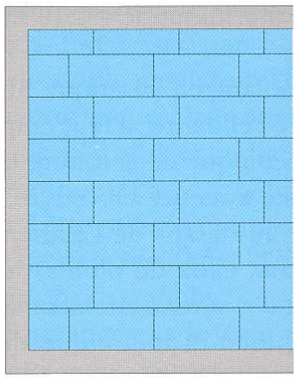
Isolation inversée : isolant sur étanchéité



Compatibilité de l'isolation inversée

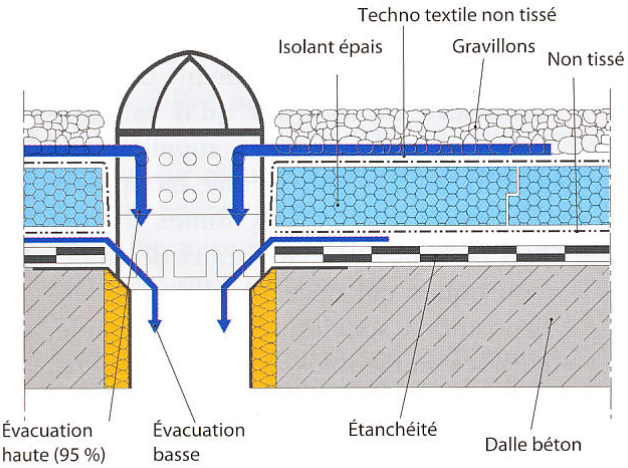


Pose des panneaux isolants



Pose des panneaux en indépendance et à joints décalés.

Évacuation des eaux pluviales



Traitement des acrotères

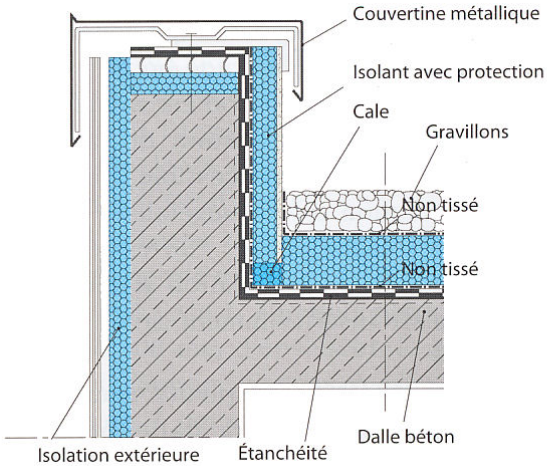


Figure 165 : Les toitures étanchées sur maçonnerie

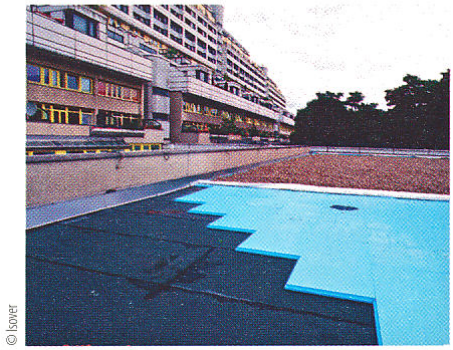


Figure 166 :
Exemple de toiture inversée isolée

coefficient U de 0,26 W/m².K. Ce niveau peut être abaissé à 0,23 W/m².K avec une laine de roche de 160 mm d'épaisseur de résistance thermique R = 4,10 m².K/W.

Avec un isolant en plastique alvéolaire ou du verre cellulaire, il faut employer la solution technique de la toiture inversée. Elle consiste à mettre en œuvre l'isolant thermique au-dessus de l'étanchéité, de l'exposer aux eaux de pluie, tout en lui permettant d'assurer également la protection mécanique et thermique de l'étanchéité. C'est pourquoi seuls les isolants à cellules fermées conviennent dans ce cas, car ils ne perdent pas leurs qualités en présence d'eau. Il s'agit généralement de polystyrène extrudé ou de verre cellulaire. Cette solution est valable quelle que soit la destination de la terrasse (accessible, non accessible, carrossable, à rétention d'eau, végétalisée intensive ou extensive, etc.). Elle est également indiquée en rénovation d'une toiture-terrasse insuffisamment isolée.

L'étanchéité en asphalte sera réalisée directement sur la dalle béton. Les panneaux d'isolant bouvetés seront ensuite posés à joints décalés en une seule couche et accompagnés d'un film techno-textile, selon les configurations (figures 165 et 166).
Le lest consistera en une couche suffisante de graviers. Dans l'exemple présenté à la figure 164, pour une toiture végétalisée, on a posé de l'isolant en remontée des acrotères, puis un film non tissé.

Dans une telle configuration, la dalle pleine est en béton (R = 0,087 m².K/W) et l'étanchéité à base d'asphalte de 5 + 15 mm (R = 0,017 m².K/W). Le revêtement d'étanchéité a une épaisseur de 2 x 5 mm et le drainage s'effectue avec filtre et substrat.
Concernant les performances thermiques, avec des panneaux de polystyrène extrudé de 120 mm, de résistance thermique R = 4,15 m².K/W, on obtient un coefficient U de 0,25 W/m².K. Ce coefficient peut être porté à 0,20 W/m².K avec des panneaux de 160 mm d'épaisseur de résistance thermique R = 5,15 m².K/W.

L'isolation acoustique

Pour la plupart d'entre eux, les isolants thermiques offrent également des performances acoustiques qu'il est intéressant d'exploiter pour augmenter le confort et la valeur d'une habitation. Cependant, tous les systèmes thermiques ne sont pas adaptés aux domaines acoustiques qui nécessitent parfois des dispositions spécifiques. Par exemple, dans les immeubles collectifs anciens, il est souvent nécessaire de diminuer les désagréments dus aux transmissions phoniques entre les logements contigus, tant au niveau des sols, des plafonds que des murs. Dans une même habitation, si

le cloisonnement léger est en plaques de plâtre sur ossature métallique, il convient de veiller aux contraintes acoustiques et de choisir la solution la mieux adaptée. Il en va de même pour les sols, que ce soit en collectif ou non. Dans un projet de construction, il est important de ne pas négliger le résultat acoustique des travaux entrepris. Ce point est malheureusement souvent sous-estimé et c'est lorsque l'habitation est occupée que les désagréments acoustiques apparaissent au grand jour. Pourtant il suffit de dispositions parfois élémentaires au moment de la construction ou de la rénovation. La meilleure solution pour traiter les bruits d'impacts entre deux niveaux est toujours d'intervenir dans le local supérieur, à la source des bruits, à l'occasion de la création ou de la réfection des sols. De nombreuses solutions existent, en neuf comme en rénovation, que ce soit la chape flottante, les sous-couches acoustiques, les chapes sèches, etc.

Les solutions acoustiques minces

Le bruit est de plus en plus considéré comme une véritable nuisance dans l'habitat, aussi les industriels améliorent-ils leur offre de solutions acoustiques, en privilégiant les produits spécifiques d'épaisseur réduite (figure 167). Ils sont conçus généralement pour la rénovation, avec une mise en œuvre sur les parois verticales ou les plafonds.

L'un de ces produits spécifiquement acoustiques est une laine de verre à forte masse volumique de couleur noire, commercialisée en panneaux semi-rigides. Son épaisseur est de 28 mm et sa résistance thermique R est de 0,80 m².K/W.

Figure 167 : Exemple de plaque de plâtre à acoustique renforcée

L'installation s'effectue sur une ossature métallique fixée aux parois, avec des appuis de faible épaisseur. L'habillage de l'ossature est réalisé au moyen de plaques de plâtre. L'épaisseur totale de la solution ne dépasse pas 50 mm. Elle peut aussi être utilisée pour renforcer les performances acoustiques d'une cloison alvéolaire, par exemple.

Les performances et le gain en confort sont intéressants. Par exemple, pour les planchers bois anciens avec lattis et plâtre en sous-face, on obtient une amélioration de 13 dB aux bruits d'impact (ΔL_w) et de 10 dB aux bruits aériens. Pour un plancher en hourdis béton, avec enduit en sous-face, l'amélioration aux bruits d'impact est de 25 dB et de 9 dB aux bruits aériens.

Lorsque l'isolation concerne des murs, le système apporte également de bonnes performances. Ainsi, sur une paroi en briques de 100 mm d'épaisseur, le gain est de 17 dB. Sur une cloison en carreaux de plâtre de 7 cm d'épaisseur, le gain atteint 18 dB. Pour une cloison alvéolaire classique de 50 mm d'épaisseur, le gain est de 13 dB.

Ces valeurs sont obtenues avec une plaque de plâtre BA 13. En utilisant des plaques plus épaisses (BA 15), les performances seront encore améliorées. Il est également possible d'opter pour des plaques de plâtre acoustiques, reconnaissables à leur couleur bleue. Il est à noter que les plaques acoustiques existent aussi en version hydrofuge. Dans ce cas, elles comportent une face verte et une face bleue.

Dans le cas d'une isolation acoustique contre les bruits d'impact sur le sol du logement supérieur, pour obtenir des résultats corrects, il est important d'isoler non seulement le plafond, mais aussi les parois verticales. En effet, les vibrations passent aussi par les murs.
Une autre solution consiste à employer des complexes isophoniques composés d'un isolant en mousse de polyéther graphité à cellules ouvertes. D'une épaisseur de 20 mm, ils sont collés sur une plaque de plâtre. Ce système se fixe sur les parois verticales ou les plafonds au moyen de profilés adaptés. Les profilés sont installés mécaniquement sur les supports qui ne nécessitent pas de préparation spéciale. Il suffit ensuite de visser les panneaux isolants sur l'ossature.

Les performances acoustiques sont similaires à celles que l'on peut obtenir avec la laine de verre noire. Pour un plancher bois avec lattis et plâtre en sous-face, on obtient une amélioration de 10 dB aux bruits d'impact (ΔL_w) et de 9 dB aux bruits aériens. Pour un plancher en hourdis béton, avec enduit en sous-face, l'amélioration aux bruits d'impact est de 23 dB et de 5 dB aux bruits aériens.
Appliqué en parois verticales, le système permet un gain de 14 dB si la paroi est en briques de 100 mm de largeur. Sur une cloison en carreaux de plâtre de 7 cm de largeur, le gain est de 15 dB. Avec une cloison alvéolaire de 50 mm de largeur, on obtient un gain de 13 dB.
Avant de traiter un local, il est important de bien s'assurer de la source des bruits. Il faut aussi prévoir des travaux supplémentaires d'adaptation, notamment des réseaux électriques : il convient de les prolonger pour fixer de nouvelles boîtes d'encastrement sur la nouvelle peau du mur. Si la longueur des conducteurs n'est pas suffisante, il est important de bien veiller à réaliser des raccordements propres et sûrs pour permettre la fixation directement sur le nouvel appareillage. Afin de ne pas créer de ponts phoniques, dégradez le moins possible l'isolant.

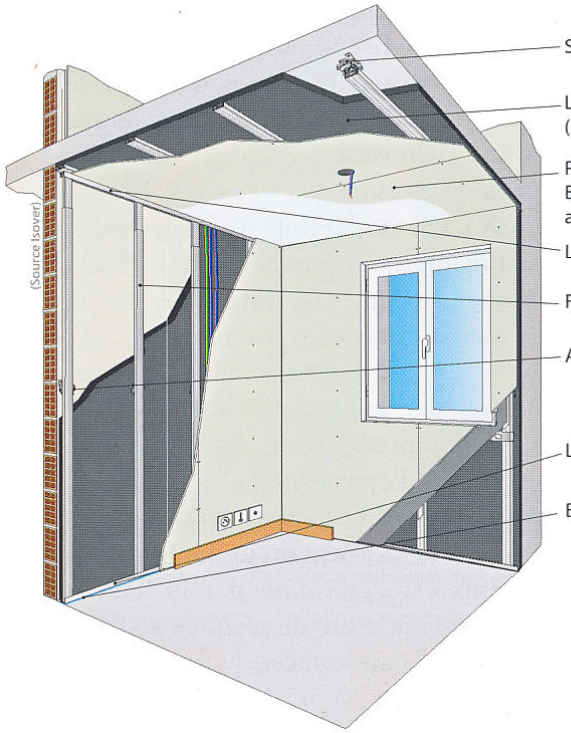
L'isolation acoustique des cloisons de distribution

Les systèmes de cloisons légères en plaques de plâtre sur ossature métallique constituent des solutions courantes pour les logements neufs, et parfois en rénovation, notamment lorsque des contraintes de charges sont à respecter. La mise en œuvre est aisée, rapide et sèche, ce qui évite les inconvénients dus à l'eau (séchage, salissures, déchets) comme c'est le cas avec les mortiers ou certaines colles.

L'ossature métallique est composée de montants posés à intervalles réguliers entre une lisse basse, au sol, et une lisse haute, en plafond. Chaque côté est recouvert de plaques de plâtre cartonnées et fixées mécaniquement sur l'ossature. Le type de plaques de plâtre à employer dépend de la destination de la pièce. Par exemple, dans les locaux humides, il faut choisir des plaques hydrofuges. L'espace

Solutions d'isolation acoustique mince

Système avec laine de verre spécifique et ossature

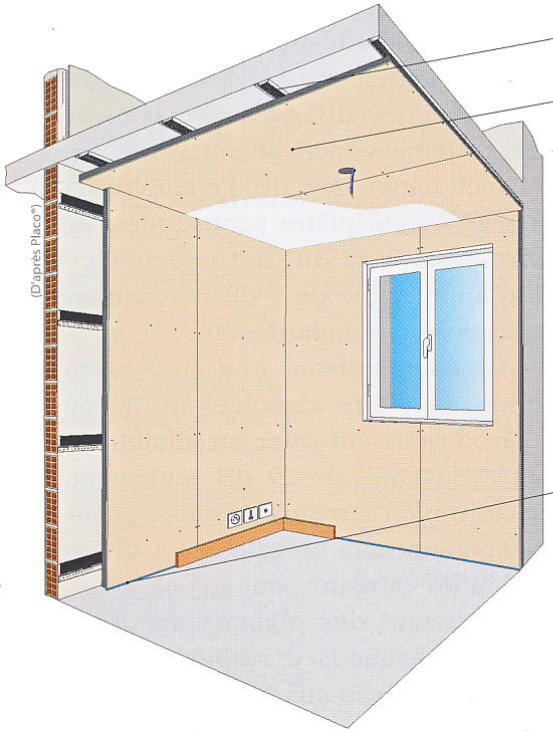


Performances acoustiques

Support horizontal	Bruits d'impact			Bruits aériens		
	$L_{n,w}$ (dB)		ΔL_w (dB)	R_A (dB)		Gain (dB)
	Avant	Après		Avant	Après	
Plancher bois avec lattis plâtre	82	69	- 13	33	43	+ 10
Plancher en hourdis béton (16 + 4 cm) enduit sous-face	88	63	- 25	50	59	+ 9

Support vertical	Bruits aériens (R_A en dB)		
	Avant	Après	Gain (dB)
Brique de 100 mm et enduit deux faces	32	49	+ 17
Carreaux de plâtre de 70 mm	32	50	+ 18
Cloison alvéolaire de 50 mm	27	40	+ 13

Système avec complexes isophoniques



Performances acoustiques

Support horizontal	Bruits d'impact			Bruits aériens		
	$L_{n,w}$ (dB)		ΔL_w (dB)	R_A (dB)		Gain (dB)
	Avant	Après		Avant	Après	
Plancher bois avec lattis plâtre	82	72	- 10	31	40	+ 9
Plancher en hourdis béton (16 + 4 cm) enduit sous-face	89	66	- 23	52	57	+ 5

Support vertical	Bruits aériens (R_A en dB)		
	Avant	Après	Gain (dB)
Brique de 100 mm et enduit deux faces	34	48	+ 14
Carreaux de plâtre de 70 mm	34	49	+ 15
Cloison alvéolaire de 50 mm	27	40	+ 13

Figure 168 : Les solutions d'isolation acoustique minces

entre les rails et les plaques de plâtre est rempli de laine minérale destinée à apporter ses performances acoustiques à la cloison. L'isolation serait trop faible si l'espace était laissé vide.
Il n'existe pas de réglementation acoustique pour les performances des cloisons distributives situées dans un même logement. Cependant, de bonnes performances contre les bruits aériens entre les diverses pièces améliorent le confort de l'habitation et le valorise. Par exemple, dans une chambre, le niveau de bruit ne devrait pas dépasser 20 dB. À partir de 35 dB, on constate des troubles du sommeil.
De nombreuses solutions constructives sont possibles, comme indiqué à la figure 169, dont les performances sont variables. Pour de meilleurs résultats, l'augmentation de l'épaisseur de l'ossature est efficace (36, 48, 62, 70 et jusqu'à 90 mm). Un bon moyen consiste également à augmenter le nombre de plaques de plâtre (double couche) et la nature de l'isolant. Si les cloisons séparent deux appartements dans un immeuble collectif, il doit y avoir deux ossatures avec des montants décalés. Les deux structures sont espacées de quelques millimètres et recouvertes de plusieurs épaisseurs de plaques de plâtre.

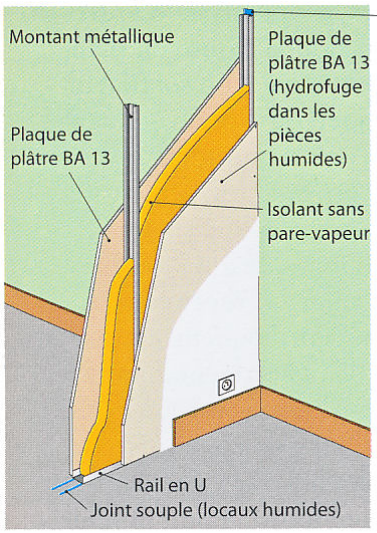
Une cloison légère de distribution typique se compose d'une ossature de 48 mm de largeur avec un parement en plaques de BA 13 de chaque côté. Une telle cloison correspond approximativement à l'épaisseur des cloisons séparatives en dur, de 70 à 72 mm, et conviennent pour les huisseries des blocs-portes standard.
Les cloisons légères sont désignées d'après leur épaisseur totale et la largeur de l'ossature. Par exemple, une cloison 72/36 correspond à une cloison dont les montants ont une épaisseur de 36 mm et comprenant deux épaisseurs de plaques de plâtre BA 18 (18 mm).
Les cloisons séparatives entre appartements sont désignées par trois lettres, selon le dispositif constructif et l'épaisseur de la cloison. Par exemple, la mention SAA 120 (Séparative d'appartement à ossature alternée) caractérise une cloison composée d'une ossature alternée de 120 mm d'épaisseur. La mention SAD 160 (Séparative d'appartement à ossature double), par exemple, caractérise une cloison composée d'une ossature double de 160 mm d'épaisseur.
Dans le cas d'une cloison à ossature simple, l'espacement ou le doublage des montants est déterminé par la hauteur d'étage et le nombre de plaques de plâtre posées sur chaque face.

Pour juger des performances possibles, prenons l'exemple d'une cloison classique 72/48. L'affaiblissement acoustique aux bruits aériens R_A de l'ossature, sans isolant, est de 33 dB. Avec de la laine de verre, l'affaiblissement atteint 39 dB, soit une amélioration de 6 dB. En employant des plaques de plâtre acoustiques, ce chiffre passe à 42 dB, soit une amélioration appréciable de 9 dB par rapport à une cloison standard sans isolant. À titre de comparaison, une cloison en plaques de plâtre alvéolées de 50 ou 60 mm d'épaisseur offre un affaiblissement acoustique de 29 dB seulement. Une cloison en carreaux de plâtre pleins de 70 mm apporte un gain de 31 dB ou 32 dB si les carreaux sont alvéolés.
En choisissant des plaques de plâtre BA 18 sur chaque face, l'affaiblissement acoustique obtenu aux bruits aériens R_A est de 42 dB. En posant deux couches de plaques de plâtre BA 13 de chaque

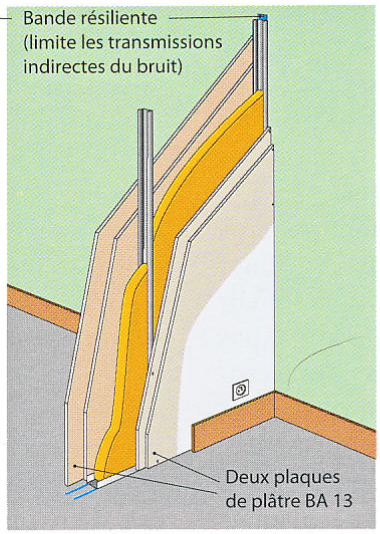
Cloisons distributives ou séparatives (performances acoustiques)

(Sources : Isover, Placo®)

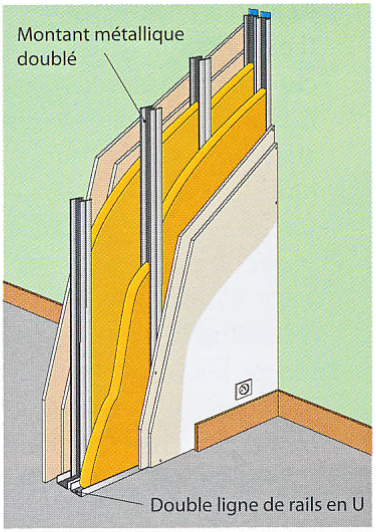
Cloison à simple parement



Cloison à double parement



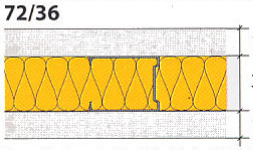
Cloison à double ossature décalée



Performances acoustiques (vues en coupe)

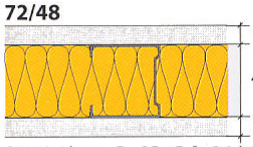
Les cotes sont en millimètres, les valeurs en bleu correspondent aux améliorations dues à l'utilisation de plaques de plâtre phoniques.

72/36



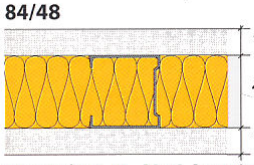
Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 37 (-2 ; -5)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **44 (-3 ; -8)**

72/48



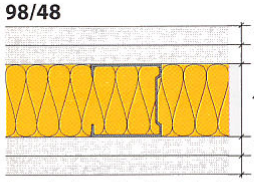
Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 34 (-1 ; -6)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **42 (-3 ; -9)**
R_A = 39 dB/42 dB

84/48



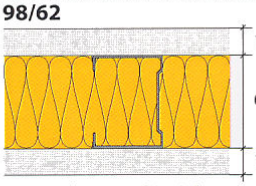
Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 38 (-2 ; -5)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **44 (-2 ; -7)**

98/48



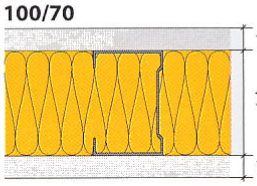
Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 42 (-2 ; -7)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **49 (-2 ; -8)**
R_A = 47 dB/50 dB

98/62



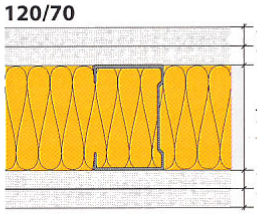
Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 38 (-1 ; -5)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **47 (-2 ; -7)**

100/70



Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 39 (-2 ; -7)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **46 (-3 ; -9)**

120/70

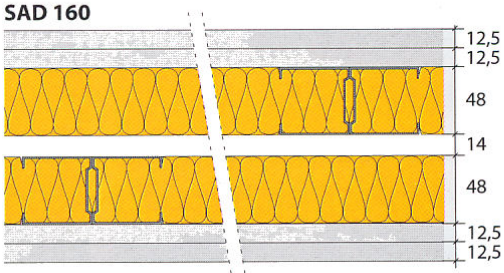


Sans isolant - R_w [C ; C_{tr}] : 44 (-2 ; -7)
Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **52 (-2 ; -7)**
R_A = 50 dB/61 dB

Cloisons séparatives d'appartements

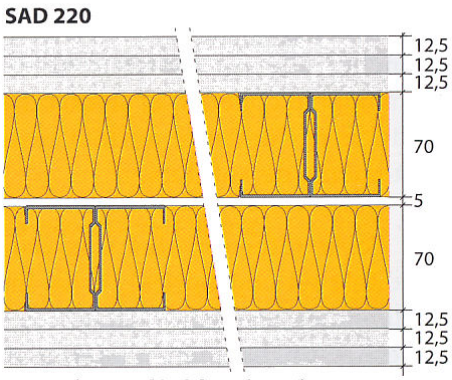
SAD (Séparative d'appartements à ossature double)

SAD 160



Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **64 (-2 ; -7)**

SAD 220



Avec isolant - R_w [C ; C_{tr}] : **71 (-2 ; -7)**

Figure 169 : Les performances acoustiques des cloisons séparatives

côté, l'affaiblissement atteint 47 dB. Si les plaques sont acoustiques, le gain s'élève à 50 dB.
Il est possible naturellement de créer des cloisons encore plus épaisses. Cependant il faut veiller, dans ce cas, à prévoir les adaptations nécessaires à la fixation des blocs-portes.
Les montants des ossatures sont pourvus d'alvéoles qui permettent de distribuer les canalisations électriques à l'intérieur de la cloison. Attention toutefois à ne pas placer les boîtes d'encastrement électriques en vis-à-vis dans les cloisons, afin de ne pas créer de ponts phoniques.
Si vous optez pour des parements composés de plusieurs couches de plaques de plâtre, veillez à décaler les raccords, sur des montants distincts de la couche précédente.

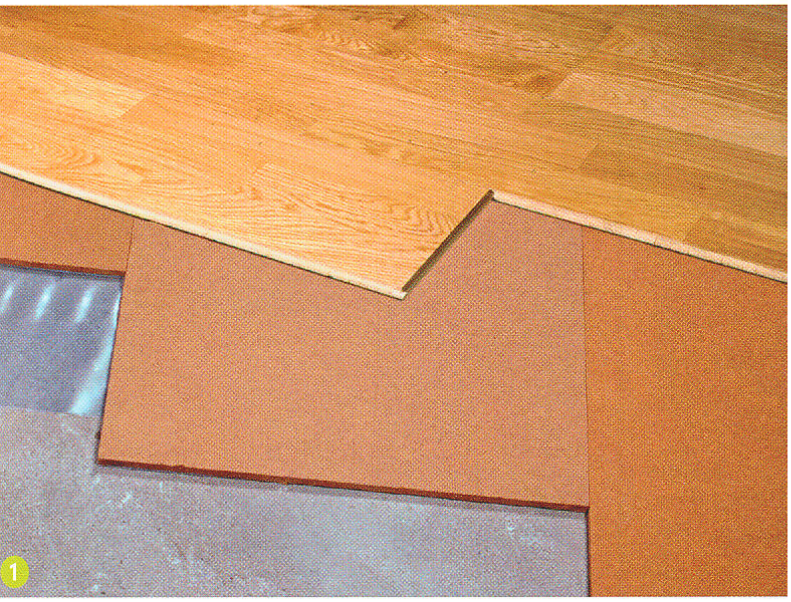
L'isolation acoustique des planchers

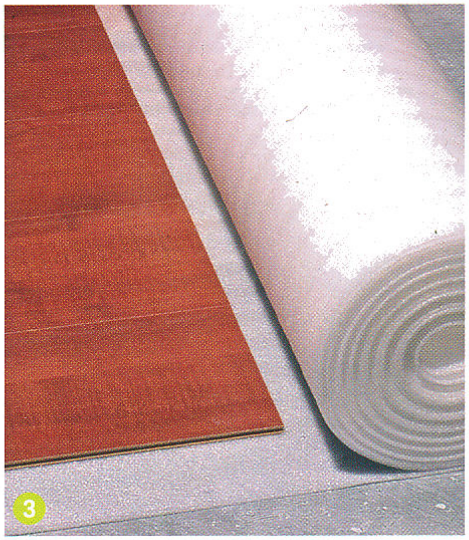
Afin d'éviter la transmission des bruits d'impact d'un niveau à l'autre, et ce y compris à l'intérieur d'une même habitation, il est recommandé de réaliser l'isolation acoustique des planchers. Cette disposition n'est bien sûr pas obligatoire, cependant elle contribue grandement au confort et à la valeur du bien. En revanche, elle est indispensable dans un immeuble collectif, et se doit dans ce cas d'être performante, surtout en cas de revêtements de sol durs.

Lors de la réfection des sols dans un immeuble en copropriété, il est interdit de diminuer les performances existantes, en revanche, rien n'interdit de les améliorer.
En cas de nuisances, le traitement à la source est toujours le plus efficace. Le principe consiste à désolidariser le sol fini des parois verticales. Les solutions seront différentes selon le type de revêtement de sol et selon la nature du plancher existant. Dans le cas d'un sol flottant comme un parquet ou un revêtement stratifié, il peut s'agir d'une simple sous-couche (figure 170). Si le revêtement est dur, comme un carrelage, une chape flottante est une solution. Une autre solution consiste à opter pour un revêtement de sol souple comme une moquette épaisse, si la nature du plancher le permet. En effet, les solutions d'isolation acoustique des planchers légers sont toujours plus délicates à mettre en œuvre que dans le cas d'un plancher lourd. Pour obtenir des performances correctes, il est alors souvent nécessaire d'intervenir des deux côtés.

Les solutions d'isolation acoustique des planchers par le dessus

Comme indiqué, les solutions diffèrent selon le type de plancher (figure 171). Sur un plancher lourd, la solution la plus adaptée et la plus performante est la chape flottante. Il s'agit de désolidariser la chape de la dalle au moyen d'un isolant, avec des remontées le long des parois verticales égales à la totalité de l'épaisseur de la chape. Si le revêtement de sol final est dur, il ne devra, en aucun point, entrer en contact avec les parois verticales, dont il devra rester isolé grâce à un cordon périphérique de mastic souple. De même, les plinthes ne devront pas être en appui sur le sol et n'être fixées que sur les murs.
L'isolant sous chape doit avoir une résistance à la compression suffisante et être prévu pour un usage d'isolation acoustique.





1. Sous-couche isolante et égalisante en fibres de bois
2. Sous-couche mince en mousse de polyoléfine réticulée
3. Sous-couche en polyéthylène pour sol stratifié
4. Sous-couche mince pour carrelage collé

Figure 170 : Exemple de sous-couches acoustiques minces

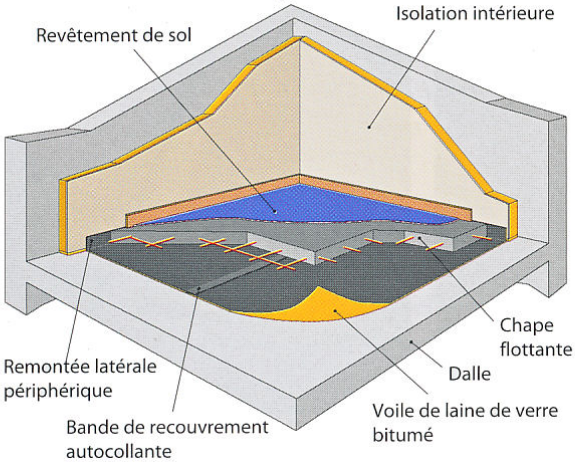
Selon la surépaisseur admissible, plusieurs choix sont possibles, du voile de verre bitumé mince, mais aux performances minimales, à l'isolant en panneaux épais, pour des performances optimales.

Si le revêtement de sol est flottant, il convient de poser au préalable une sous-couche isolante, par exemple en mousse de polyéthylène directement sur la dalle si elle est parfaitement plane. Si elle est

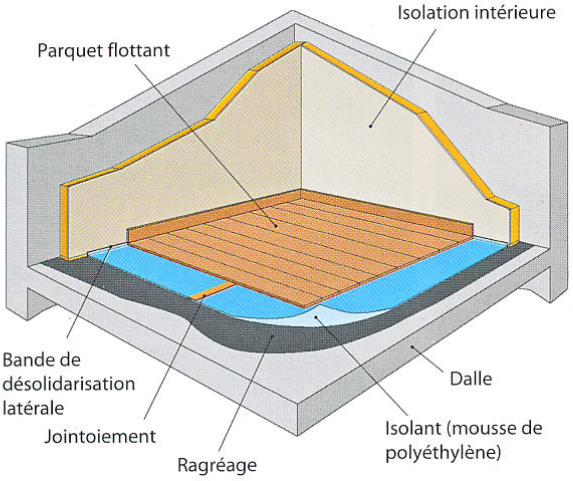
Solutions acoustiques pour planchers par le dessus (D'après Isover)

Planchers d'étage maçonnés

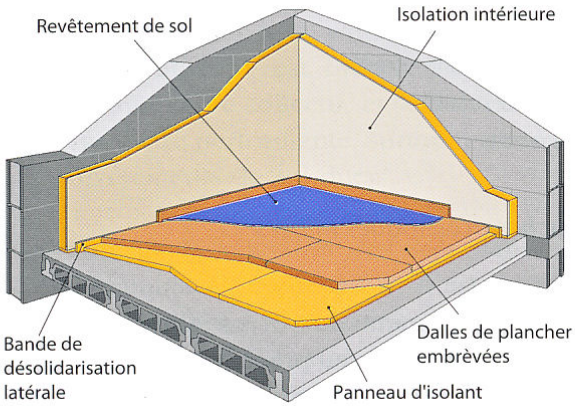
Isolation mince sous chape flottante



Isolation mince sous revêtement de sol

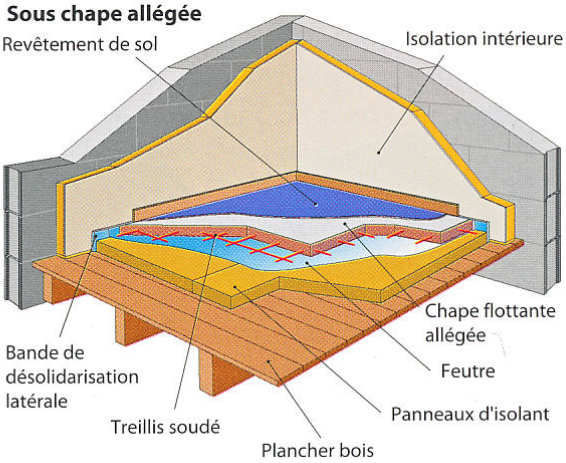


Sous dalles de panneaux de sol (surcharges limitées)

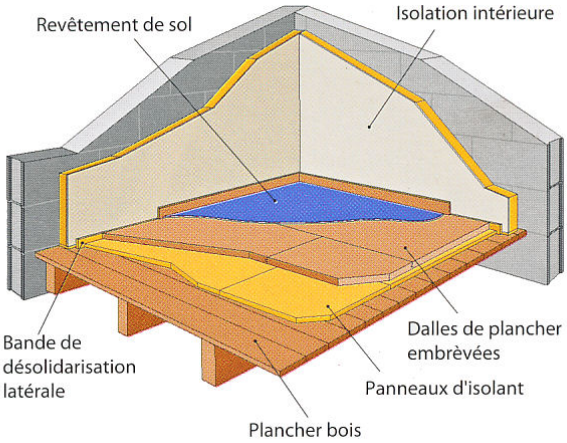


Planchers légers

Sous chape allégée



Sous dalles de panneaux de sol (surcharges limitées)



Isolation acoustique renforcée (de part et d'autre)

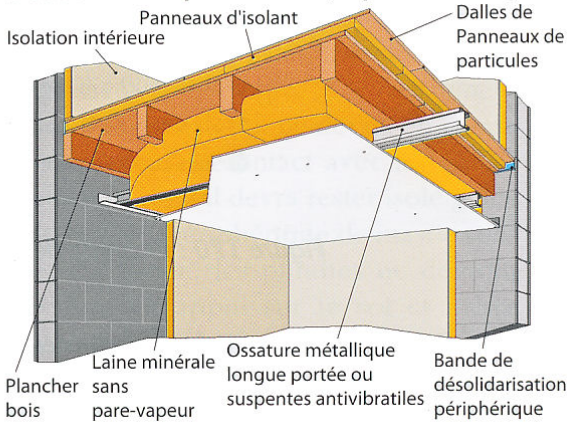


Figure 171 : Les solutions acoustiques pour les planchers par le dessus

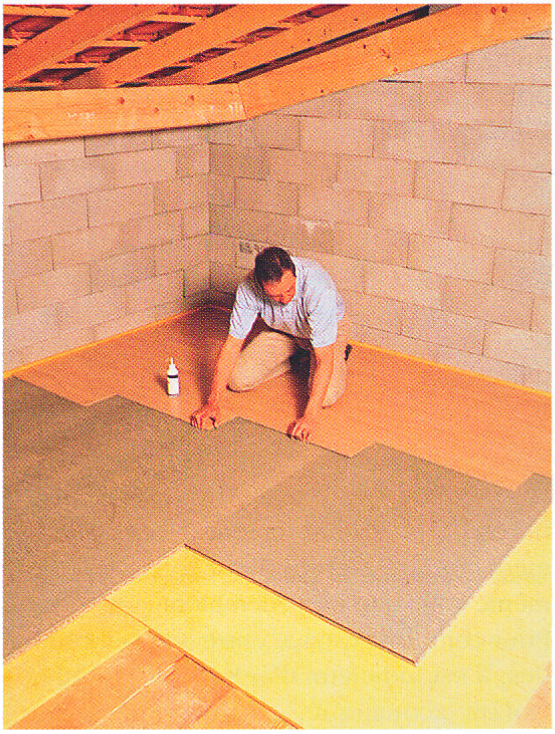


Figure 172 :
Exemple de solution acoustique légère

irrégulière, il faut d'abord réaliser un ragréage. Le principe est sensiblement le même que celui de la chape flottante puisque le revêtement de sol ne doit, en aucun point, entrer en contact avec les parois verticales ou les canalisations traversantes. À cet effet, on utilise une bande de désolidarisation périphérique et on ménage un espace de dilatation entre le revêtement et les murs. Les sous-couches existent en plaques ou en rouleaux. Certaines sont même conçues pour la pose d'un revêtement de sol collé, comme un parquet en bois massif ou même un carrelage. Leur faible épaisseur est un atout appréciable en rénovation.
Avec ce type de sous-couches, la réduction possible du niveau de bruit de choc pondéré ΔL_W est comprise entre 18 et 22 dB.

Enfin, pour améliorer l'isolation par le dessus, on peut créer un surplancher au moyen de dalles de sol embrevées et posées sur des panneaux isolants, avec une bande de désolidarisation périphérique. C'est le principe de la chape sèche.
Pour les planchers légers, des solutions similaires sont envisageables. Cependant les performances globales seront toujours inférieures à la même solution appliquée à un plancher lourd.
Vous pouvez opter pour le principe de la chape flottante si la structure existante est capable de supporter la surcharge induite. La chape armée et de préférence allégée, sera coulée sur un isolant et désolidarisée des parois verticales.
Une solution rapide et aisée à mettre en œuvre consiste à réaliser un surplancher léger au lieu d'une dalle de mortier, en employant des plaques de plancher embrevées (figure 172).

Enfin, pour des performances optimales, il convient de renforcer l'isolation également par le dessous en installant un plafond rapporté dans le local inférieur. Le système devra lui aussi être désolidarisé du plancher afin de ne pas transmettre les vibrations. C'est pourquoi il faut choisir des suspentes antivibratiles, dont les cavaliers sont montés sur des *silent blocs*.
Si les dimensions de la pièce le permettent, on peut aussi utiliser des profilés de longue portée ne nécessitant pas ou peu de suspentes. L'isolant fibreux sera installé dans la partie inférieure du plénum, en prenant soin de conserver une lame d'air entre le plancher et l'isolant. Le parement du plafond se fera avec des plaques de plâtre.
Pour connaître les performances acoustiques de ces solutions, reportez-vous à la page 326.

En ce qui concerne les parquets massifs à coller ou à clouer, il existe d'autres possibilités. Pour les parquets collés en plein (figure 173), une bonne solution pour renforcer encore l'acoustique consiste à étaler un lit de sable sur la dalle, à le recouvrir d'un film polyane, puis à poser des panneaux de fibres de bois. Sur cette couche, un plancher composé de panneaux de sol embrevés sera installé. Il servira de support au parquet collé en plein.

Les parquets massifs peuvent aussi être collés au cordon, c'est-à-dire au moyen de filets de colle souple en polyuréthane, disposés en cordons parallèles sur le sol existant. Les lames de parquet, à rainures et languettes, trouvent leur place directement sur les cordons. La colle, en restant souple après séchage, améliore l'isolation acoustique et atténue la réverbération des bruits d'impacts (ΔL_w = 18 dB).
Pour une meilleure planéité, vous pouvez opter pour une sous-couche complémentaire. Ces sous-couches sont prévues spécifiquement pour cet usage, elles sont composées de fibres de bois bitumées et sont pourvues d'alvéoles (figure 174). Celles-ci permettent la dépose aisée des cordons de colle. Naturellement, la sous-couche ne doit pas entrer en contact avec les parois verticales, comme il est de mise pour toutes les solutions acoustiques. Il est à noter toutefois que le gain en performances par rapport à une pose simple sur cordon reste modeste, car c'est la colle qui, comme élément le plus élastique, assure la plus grande part des performances.

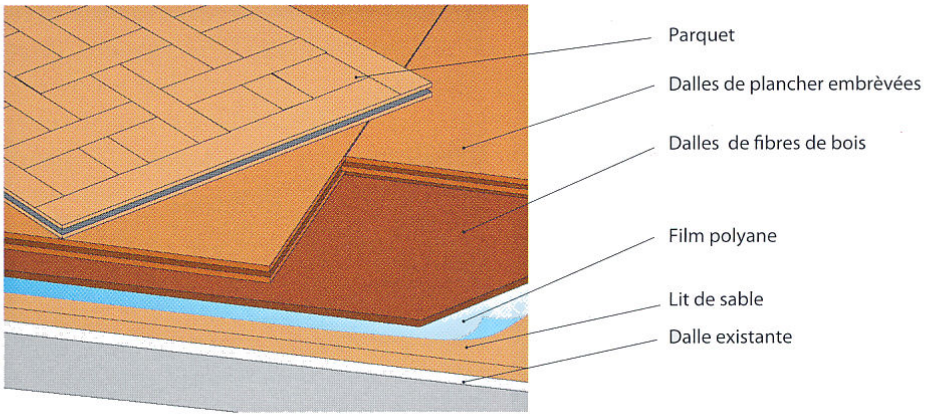
Pour améliorer les performances acoustiques dans le cas d'un parquet massif cloué sur lambourdes, l'objectif est de couper la transmission des bruits de choc à travers celles-ci. Pour ce faire, on utilise des panneaux de fibres de bois incompressibles disposés au sol avant l'installation des lambourdes qui, de fait, deviennent flottantes. En effet, elles ne sont fixées ni sur la dalle, ni sur les panneaux d'isolant. Comme à chaque fois, afin de désolidariser les panneaux de fibres du mur, il faut poser une bande de mousse, en remontée, en périphérie de la pièce.

Pour simplifier la mise en œuvre, on peut se contenter de placer des bandes de fibres de bois uniquement à l'emplacement des lambourdes. Pour la fixation, la même colle que précédemment convient. Pour combler l'espace entre les lambourdes, il est judicieux d'employer un autre isolant acoustique, ce qui évitera les phénomènes de réverbération des bruits d'impact. Les performances acoustiques dépendront de l'isolant utilisé. Le parquet ne devra en aucun cas toucher les parois verticales afin de ne pas créer de pont phonique, mais aussi parce que, comme pour tout parquet, il est nécessaire de ménager un espace de dilatation sur le pourtour de la pièce.

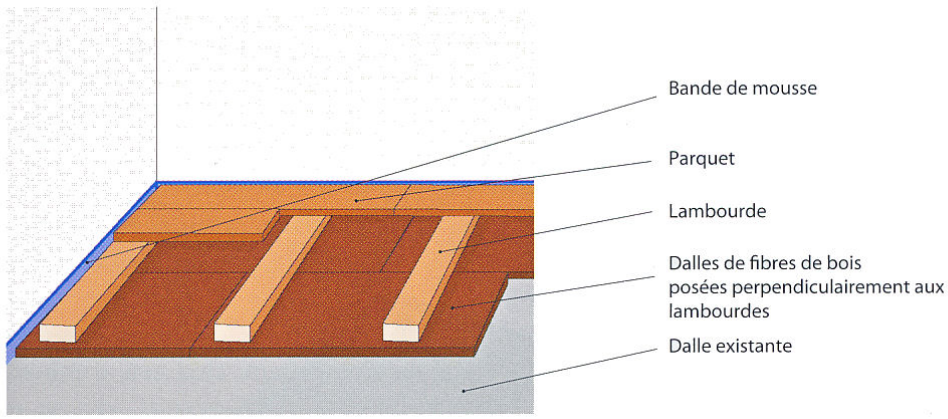
Il existe des panneaux mous embrevés en fibres de bois de 40 ou 60 mm d'épaisseur, qui présentent la particularité d'intégrer une lambourde (figure 175). Celle-ci, ayant une épaisseur moindre que celle de l'isolant, n'entre jamais en contact avec la dalle, ce qui interdit la transmission des bruits d'impact au support. Ce type de produit possède également des performances thermiques intéressantes (conductivité thermique lambda de 0,045 W/m.K).
Cette solution convient pour un plancher lourd ou léger. Il faut poser un film pare-poussière sur l'ancien plancher, puis les

Isolation phonique sous parquets

Parquet collé sur faux-plancher et lit de sable



Lambourdes flottantes sur panneau de fibres



Bandes d'isolant sous lambourdes

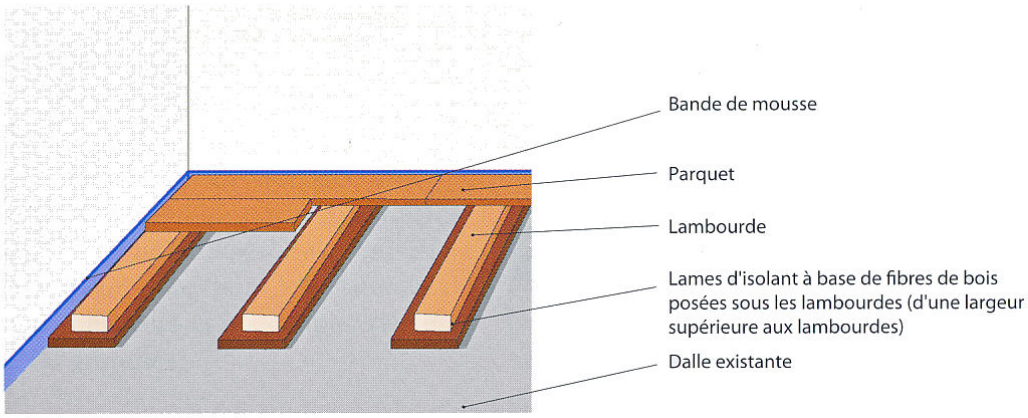


Figure 173 : L'isolation phonique sous parquets en pose traditionnelle

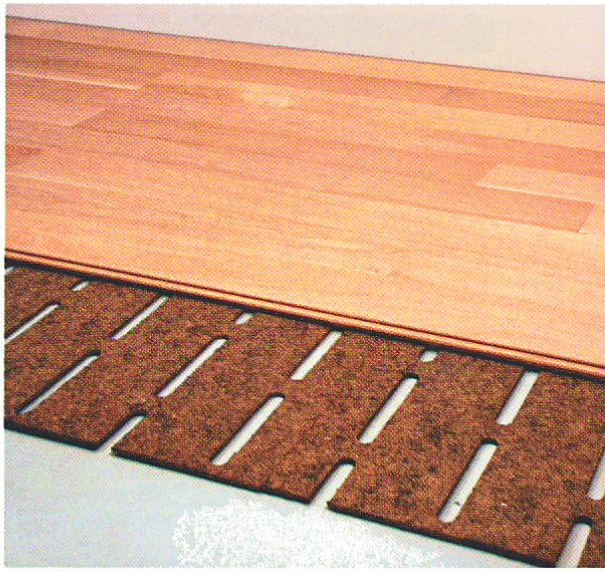
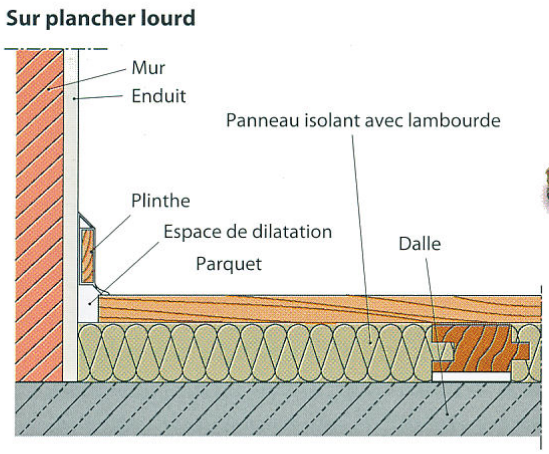


Figure 174 : Les sous-couches pour parquets collés

Isolation thermo-acoustique d'un parquet cloué (Source Pavatex)



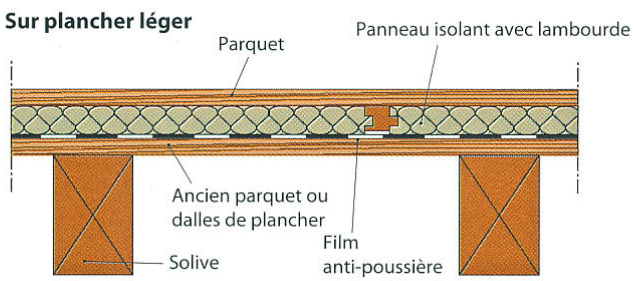


Figure 175 : L'isolation thermo-acoustique d'un parquet cloué

panneaux, avant de clouer le parquet massif. Pour améliorer les performances, on peut poser une sous-couche supplémentaire en fibres de bois ou une couche de sable, disposée dans une structure cartonnée en nid d'abeille.
Les performances acoustiques contre les bruits d'impact sont appréciables. Par exemple, sur un plancher bois non isolé ($L'_{nT,W}$ = 88 dB), on peut obtenir un niveau de pression pondéré $L'_{nT,W}$ de 72 dB. Ce niveau passe à 69 dB avec une sous-couche supplémentaire en fibres de bois de 22 mm d'épaisseur et à 64 dB avec une sous-couche de sable dans une structure en nid d'abeille. Sur un plancher lourd, les performances sont encore plus élevées. Dans le cas d'une dalle béton, par exemple ($L'_{nT,W}$ = 74 dB), on obtient un niveau de pression pondéré $L'_{nT,W}$ de 52 dB.

Les solutions pour planchers anciens déformés

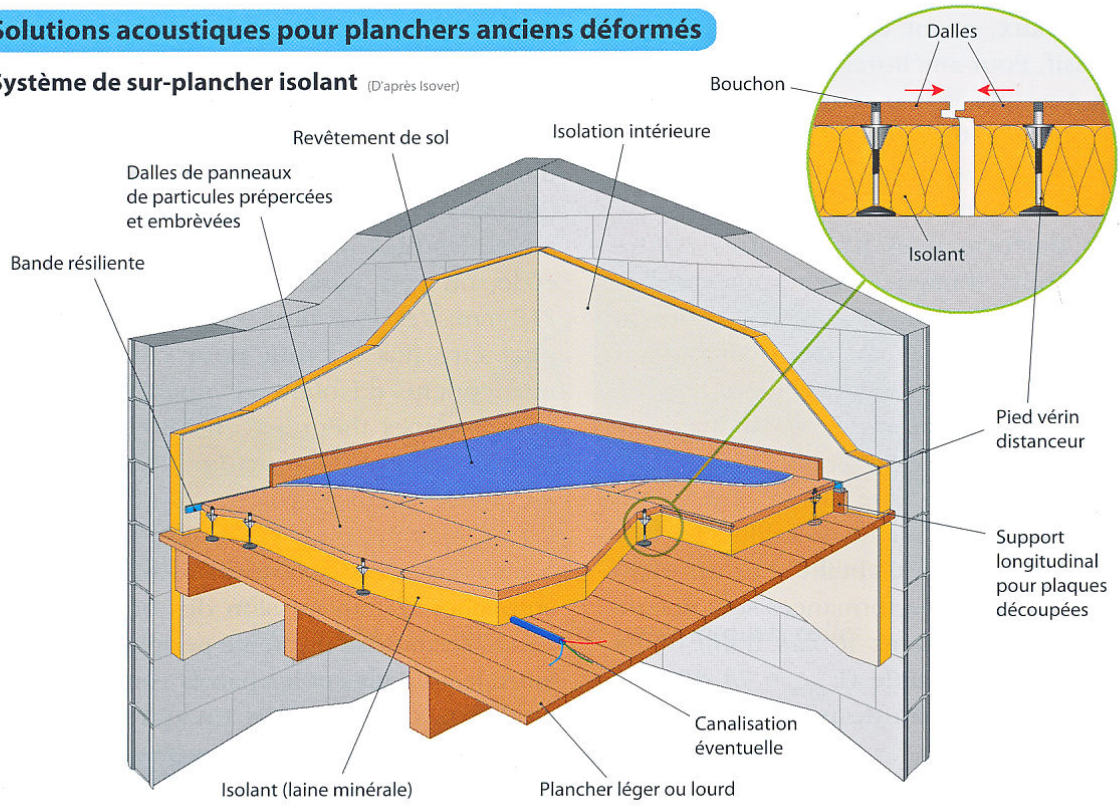
Il n'est pas rare, en rénovation, d'être confronté à des sols anciens déformés. Dans ce cas, la pose d'un isolant, puis d'un nouveau sol peut ne pas suffire à obtenir un résultat satisfaisant, plan et de niveau. Pour résoudre ce type de problème tout en apportant une isolation acoustique performante, des solutions existent. Elles conviennent également pour les planchers lourds s'il y a nécessité, par exemple, de corriger un faux niveau et pour améliorer les performances thermo-acoustiques. Les deux solutions courantes sont les systèmes de surplancher isolé et les chapes sèches à base de granules.

Le **surplancher** (figure 176) consiste à utiliser des dalles de sol spécifiques (CTB-H de 30 mm d'épaisseur) embrevées et prépercées dans le but d'accueillir des pieds distanceurs. Ce sont des vérins réglables par le dessus. Ils existent en différentes hauteurs pour rattraper pratiquement toutes les inégalités des sols, même les plus irréguliers. Avec ce procédé, on peut surélever le sol de 48 à 218 mm. L'espace situé sous les plaques peut être mis à profit pour constituer une couche d'isolant et améliorer les performances thermo-acoustiques existantes. De plus, la structure ainsi créée est idéale, dans l'optique d'une rénovation globale, pour la distribution des canalisations électriques et autres. Pour empêcher la transmission des bruits, la bande de mousse résiliente périphérique, entre les plaques et les parois verticales, ne doit pas être oubliée. Un autre avantage des pieds est qu'ils permettent le découplage acoustique entre les plaques et l'ancien sol. Le procédé est adaptable à tout type de plancher, léger ou lourd, bas ou intermédiaire. Les revêtements de sol recommandés sont la moquette, les sols plastiques ou les planchers flottants. La résistance mécanique est conforme aux exigences réglementaires en matière de sol.

Dans le cas d'un plancher bois non isolé (CTBH de 22 mm, $L'_{nT,W}$ de 94 dB), avec 18 cm de laine minérale, des plaques de sol, une sous-couche en fibres de bois de 7 mm et un parquet flottant, cette solution permet d'obtenir un niveau de pression pondéré $L'_{nT,W}$ de 71 dB. Ce résultat passe à 67 dB avec une moquette. Avec 10 cm de laine minérale, des plaques de sol et une moquette, on atteint un niveau de pression pondéré $L'_{nT,W}$ de 68 dB. Le résultat est également de 68 dB si l'on pose seulement 3 cm de laine minérale. On constate que les performances aux

Solutions acoustiques pour planchers anciens déformés

Système de sur-plancher isolant (D'après Isover)



Système de chape sèche sur forme de granules isolantes

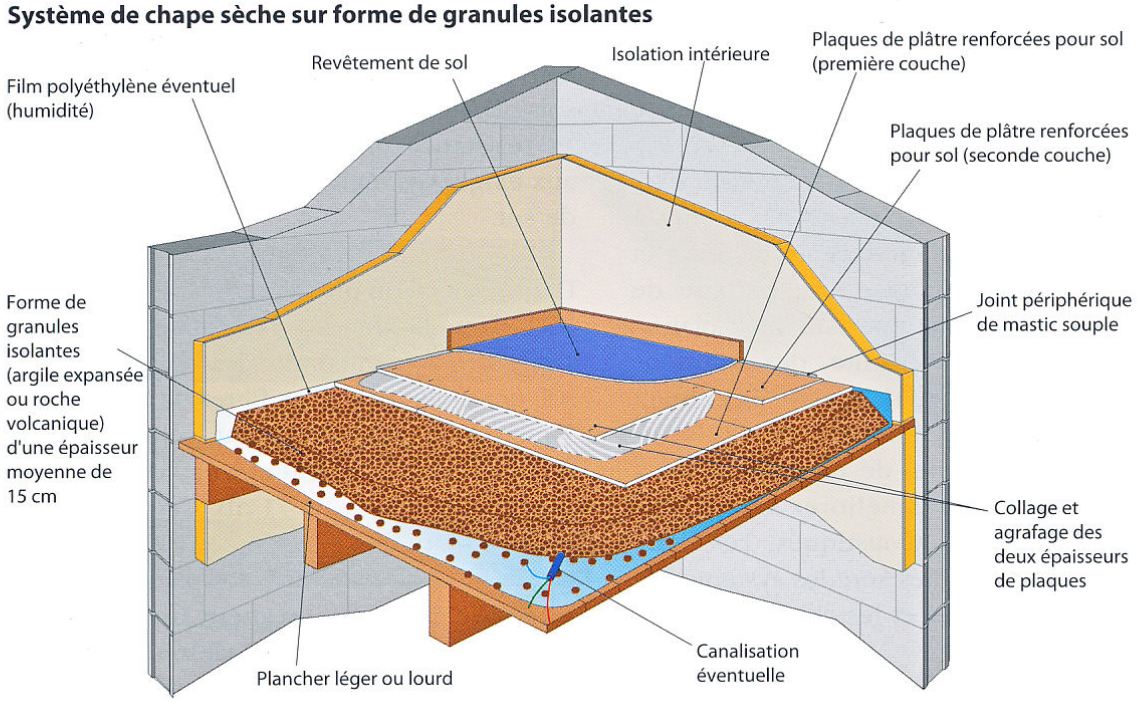


Figure 176 : Les solutions acoustiques pour planchers anciens

bruits d'impact dépendent principalement de la structure porteuse et peu de l'isolant. En revanche, l'épaisseur d'isolant jouera un grand rôle contre les bruits aériens.

La deuxième solution repose sur le principe de la **chape sèche flottante**. Le procédé consiste à protéger l'ancien plancher par un film plastique, puis à réaliser une forme d'égalisation composée de granules isolantes. Il peut s'agir d'argile expansée ou de roche volcanique. La forme est tirée à la façon d'une chape classique, avec des règles, ce qui permet de rattraper les défauts et l'éventuel faux niveau de l'ancien sol. Cette chape sèche est incompressible, ne craint pas l'humidité et permet la distribution des canalisations électriques ou de plomberie. Deux couches de plaques de plâtre renforcées à bords francs sont ensuite posées. Les deux couches de plaques de plâtre doivent être croisées. La seconde couche est collée sur la première. Une bande périphérique permettra de rompre le contact entre les plaques et les parois verticales. Pour améliorer encore les performances acoustiques et si la surcharge est compatible avec le plancher, il est possible d'augmenter le nombre de couches de plaques de plâtre. Dans les pièces d'eau, il est indispensable de traiter le sol en appliquant une sous-couche d'étanchéité.
Ce procédé est compatible avec tous les revêtements de sol souples ou durs, excepté les textiles tendus.
L'épaisseur nécessaire de granules pour constituer la forme est comprise entre 2 et 20 cm.

En ce qui concerne les performances, si l'on considère l'exemple d'un plancher bois non isolé ($L'_{nT,W}$ = 92 dB), sur lequel est créée une forme de deux centimètres, plus deux couches de plaques de plâtre, cette solution technique permet d'obtenir un niveau de pression pondéré $L'_{nT,W}$ de 76 dB, sans tenir compte des performances du revêtement de sol. Ce niveau passe à 71 dB avec une forme de 4 cm d'épaisseur et à 69 dB avec une forme de 16 cm d'épaisseur. On remarque qu'il est inutile d'augmenter exagérément l'épaisseur de la forme car cela n'augmente pas fortement les performances. Sur un plancher en hourdis béton non isolé ($L'_{nT,W}$ de 91 dB), avec deux centimètres de forme et deux lits de plaques de plâtre, on obtient un niveau de pression pondéré $L'_{nT,W}$ de 65 dB.

La certification des sous-couches isolantes

Suite aux nombreux manquements constatés en matière d'isolation acoustique aux bruits de chocs et à l'augmentation des exigences réglementaires, de nouveaux critères techniques ont été définis. Ils visent à préciser les qualités des sous-couches acoustiques et leur durabilité. La révision des DTU 26.2 (*Dalles et chapes flottantes*) et 52.1 (*Revêtements de sols scellés*) a abouti à la norme NF P 61-203. Celle-ci précise les conditions de mise en œuvre des sous-couches acoustiques sous chape, dalle flottante ou revêtements de sol scellés. Toutes les sous-couches en panneaux, à plots ou en rouleaux sont concernées par la norme. L'ACERMI peut également certifier les sous-couches isolantes épaisses. En ce qui concerne les planchers légers, la norme NF P 63-203 (DTU 51.3) précise que les sous-couches doivent être classées au minimum SC1. Les conditions d'utilisation des produits isolants sont

garanties par la présence de la certification sur leur étiquette (figure 177).

La première caractéristique concerne la classe de la sous-couche évaluée par un test d'écrasement instantané. Composée de deux lettres et d'un chiffre : SC1 ou SC2, elle représente la nature et le type d'ouvrage admis sur l'isolant. SC1 désigne une sous-couche pouvant recevoir une chape de 5 cm avec armature, une chape de 6 cm sans armature ou un carrelage scellé directement au mortier, d'une épaisseur de 5 cm, sans armature. SC2 est une sous-couche pouvant recevoir une chape de 6 cm, avec armature, ou un carrelage scellé sur une forme armée (6 cm de mortier ou béton avec treillis soudé).

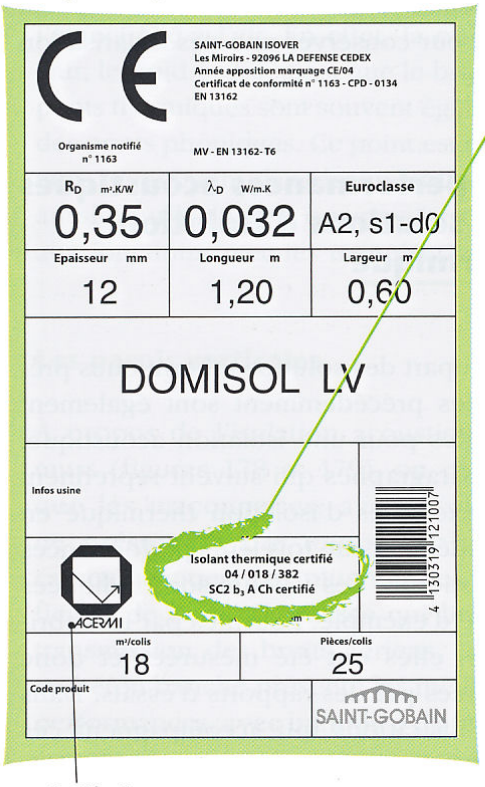
La seconde caractéristique concerne la charge d'exploitation autorisée. Elle est représentée par deux lettres *a* ou *b*. La lettre *a* indique que les charges d'exploitation doivent être inférieures ou égales à 500 kg/m², ce qui correspond à un usage que l'on peut rencontrer dans les locaux tertiaires. La lettre *b* désigne une charge admise inférieure ou égale à 200 kg/m², soit un usage domestique. La lettre est suivie d'un chiffre compris entre 1 et 4. Il correspond au fluage, c'est-à-dire à la capacité de l'isolant à conserver son épaisseur, sur une période de 10 ans. Plus le chiffre est élevé, plus l'isolant a tendance à se tasser.
Une autre lettre, majuscule (A), peut apparaître également à la suite. Elle sert à attester des propriétés acoustiques contre les bruits d'impact de la sous-couche qui doit offrir un indice ΔL_w supérieur ou égal à 15 dB.
Enfin, l'éventuelle mention « Ch » indique que l'isolant est compatible avec un sol chauffant.

En cas d'association d'une sous-couche thermique et d'une sous-couche acoustique, cette dernière sera toujours placée en dessous. L'ouvrage placé au-dessus des deux couches d'isolant doit répondre aux exigences SC2. Dans ce cas, les valeurs des indices de fluages s'additionnent. La somme doit toujours rester inférieure ou égale à 4. Par exemple, une sous-couche a2 plus une sous-couche a1 équivaut à une sous-couche a3. Cela signifie qu'un isolant d'indice 4 ne peut pas être superposé à un autre.
La norme prévoit également des recommandations concernant la mise en œuvre. Les isolants doivent être protégés avant la réalisation de la chape ou de la dalle avec des planches posées directement par dessus ou avec des morceaux de plaques provenant de découpes, et ce afin d'éviter tout risque de poinçonnement.
Si l'isolation est réalisée avec des panneaux, il convient d'assurer la continuité entre les isolants. Tout panneau rigide présentant une flèche supérieure à 4 mm/m doit être éliminé. Les panneaux doivent être installés après la réalisation de la bande périphérique et en assurer le maintien.

Les panneaux isolants à bords droits doivent être posés à joints décalés et rester jointifs, soit un espace interstitiel inférieur à 2 mm. Pour empêcher la pénétration de laitance de ciment, il convient de poser un film de polyéthylène d'au moins 150 microns d'épaisseur, en veillant à ce que les lés aient un recouvrement entre eux d'au moins 10 cm et soient solidarisés avec du ruban adhésif de 5 cm de largeur, au minimum. Les lés doivent aussi remonter le long des parois et être correctement pliés dans les angles.
Si les panneaux sont en plastique alvéolaire, une autre solution consiste à coller

Certification des sous-couches isolantes

Exemple d'étiquette CE



Certification

Caractéristiques de la sous-couche

SC2 b_3 A Ch

- La présence des lettres **Ch** atteste que la sous-couche est compatible avec les planchers chauffants (50 °C maximum).
- La lettre **A** atteste qu'il s'agit d'une sous-couche acoustique de traitement des bruits d'impact ($\Delta L_w \geq 15$ dB).
- Chiffre de **1** à **4**, caractérise le test de fluage (comportement de l'isolant à 10 ans). Lors de la superposition de 2 sous-couches, la somme des indices des deux produits doit être inférieure à 4.
- Lettre **a** ou **b** caractérise les charges d'exploitation autorisées : a = 500 kg/m² (pour le tertiaire), b = 200 kg/m² (pour le résidentiel).
- Classe **SC1** ou **SC2** caractérise l'écrasement instantané de la sous-couche sous charge. Elle conditionne la composition de l'ouvrage réalisé sur l'isolant.

Charges d'exploitation		
Lettre associée à la classe de l'isolant	Charge d'exploitation du local	Exemple de locaux
a	≤ 500 kg/m²	Bureaux, hall de réception…
b	≤ 200 kg/m²	Locaux d'habitation…

Test de fluage	
Indice	Réduction de l'épaisseur à 10 ans
1	< 0,5 mm
2	0,5 à 1 mm
3	1 à 1,5 mm
4	1,5 à 2 mm

Exemple des caractéristiques d'une chape flottante en fonction de la classe de l'isolant

Cas d'une isolation sous chape flottante sans chauffage avec revêtement de sol collé.

Classe de l'isolant	Caratéristiques de la chape en ciment	
	Épaisseur de chape	Treillis soudé
SC1	Épaisseur nominale de 5 cm sans être localement inférieure à 4 cm	Treillis soudé : mailles ≤ 100 mm, masse > 325 g/m² ou fibres polypropylène bénéficiant d'un avis technique
	Épaisseur nominale de 6 cm sans être localement inférieure à 4,5 cm	Chape ne nécessitant pas de treillis soudé ou de fibres
SC2	Épaisseur nominale de 6 cm sans être localement inférieure à 4,5 cm	Treillis soudé : mailles ≤ 100 mm, masse > 325 g/m² ou fibres polypropylène bénéficiant d'un Avis Technique

Figure 177 : La certification des sous-couches isolantes

un ruban adhésif d'une largeur minimale de 5 cm, sur les joints.
Si les panneaux sont pourvus, sur leurs quatre côtés, de rainures ou de languettes assurant l'étanchéité, il n'est nécessaire d'ajouter ni film ni adhésif. Pour ce type de panneaux, la mise en œuvre doit débuter de l'angle opposé à l'entrée de la pièce. Les rainures apparentes seront placées vers l'intérieur de la pièce, les languettes non visibles seront arasées le long des murs de façon à présenter un bord droit. Les derniers panneaux seront coupés à la cote, majorée de 3 à 5 mm, puis rentrés à force.

Dans le cas d'une sous-couche en rouleaux d'une épaisseur inférieure à 5 mm, il faut remonter les lés le long des parois. Il est également possible d'assurer la désolidarisation d'avec les parois verticales au moyen d'une bande périphérique, comme dans le cas des isolants en panneaux. Les lés doivent être posés de façon jointive et solidarisés au moyen d'une bande adhésive incorporée ou bien par du ruban adhésif de 50 mm de largeur. Si l'isolant n'est pas étanche, il convient de le recouvrir d'un film plastique.

Outre les murs, la chape ou la dalle doivent être désolidarisées également de tous les éléments verticaux comme les huisseries, les marches, les tuyaux, les poteaux émergeants, etc. La bande de désolidarisation périphérique doit dépasser de 2 cm du sol fini, y compris le revêtement de sol.
La pose du revêtement de sol ne devra pas endommager la bande résiliente périphérique. Les plinthes seront posées sur la paroi verticale en rabattant la bande périphérique sous la plinthe et en la coupant à ras. Il est possible également de découper la bande périphérique et de laisser un espace de quelques millimètres entre la plinthe et le niveau du sol fini pour conserver une désolidarisation totale.

Les performances acoustiques des solutions d'isolation thermique

La plupart des solutions thermiques présentées précédemment sont également valables pour une isolation acoustique. Les paragraphes qui suivent reprennent ces exemples d'isolation thermique en considérant cette fois leurs performances acoustiques. Les valeurs sont indiquées à titre d'exemple. Fournies par les fabricants, elles ont été mesurées et donc attestées par des rapports d'essais. Dans les illustrations qui accompagnent ces données, sont présentées également les techniques d'isolation, le type de paroi, l'isolant et les performances acoustiques avant et après isolation.

Les indices importants à retenir ne sont pas les mêmes pour toutes les pièces ou parties de l'habitation. Par exemple, pour ce qui concerne les murs et, dans une plus large mesure encore, les combles, qu'ils soient habitables ou non, l'indice à prendre en compte est l'affaiblissement acoustique pondéré R_W. Un autre indice important, dérivé de ce dernier, est l'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$.
Pour ce qui concerne les planchers, il faut d'abord porter son attention sur les performances concernant les bruits d'impacts, $L'_{nT,W}$ ou ΔL_W, puis considérer ensuite l'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux R_A.

Rappelons encore une fois que la conception de l'isolation doit être très soignée, notamment en ce qui concerne l'étanchéité à l'air. En effet, là où passe l'air, le froid passe, ainsi que le bruit. Les ponts thermiques sont souvent également des ponts phoniques. Ce point est important, notamment dans les combles, mais aussi pour les parois opaques verticales, aux jonctions avec les menuiseries.

Les parois verticales

À propos de l'isolation acoustique des murs (figures 178 et 179), on constate que les maçonneries, avant isolation, ne présentent pas toutes les mêmes caractéristiques. Les plus lourdes bénéficient de l'effet de masse qui limite la transmission des bruits aériens. Le mur en béton banché présente les meilleures performances, avec un indice d'affaiblissement acoustique R_w compris entre 57 et 60 dB. Son indice d'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ est compris entre 56 et 58 dB. Un mur en parpaings offre un affaiblissement R_w compris entre 53 et 56 dB et un affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ compris 52 et 54 dB. La brique présente un indice d'affaiblissement R_w situé entre 42 et 48 dB, pour un affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ compris entre 42 et 48 dB.

En ce qui concerne les monomurs, le béton cellulaire offre des niveaux sensiblement supérieurs aux monomurs terre cuite, avec, pour un bloc de 30 cm, un indice R_w de 49 dB, un indice $R_{A,tr}$ de 44 dB. Un monomur terre cuite de même largeur présente un indice R_w de 41 dB et un indice $R_{A,tr}$ de 39 dB. Dans le cas d'un monomur peu épais, on peut améliorer ses performances en ajoutant un isolant, comme dans l'exemple du béton cellulaire de 20 cm. Cependant, il ne faut pas oublier alors que l'on peut perdre certains avantages du monomur, par exemple l'inertie thermique, si l'isolation est réalisée par l'intérieur. De plus, le coût de la construction et le temps de mise en œuvre sont augmentés.

Les différences sont importantes, selon les isolants mis en œuvre, et les résultats parfois inattendus. Sur un mur en béton, par exemple avec un complexe isolant collé en polystyrène expansé plus plaque de plâtre, on obtient les résultats suivants. Avant isolation, l'indice d'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ est de 54 dB. Après isolation, il tombe à 50 dB. On constate que l'effet est inverse, puisque l'isolation acoustique a en fait été dégradée. Il en est de même pour l'indice d'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, qui passe de 58 à 55 dB. Pour les parois en blocs de béton et en briques creuses, l'effet est le même, dans une moindre mesure. En revanche, si l'on utilise un polystyrène expansé élastifié acoustique, on obtient des résultats nettement meilleurs : l'indice d'affaiblissement acoustique R_W passe de 57 à 71 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux R_A passe de 56 à 68 dB. Pour l'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs, l'indice $R_{A,tr}$, avant et après isolation, passe respectivement de 53 à 63 dB.
Selon la situation de la maison, notamment en zone périurbaine ou proche d'un axe important de circulation, il convient de prendre un soin particulier dans le choix de l'isolant. Croyant améliorer l'isolation acoustique, on peut en réalité la diminuer par rapport aux performances du bâti.

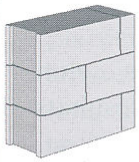
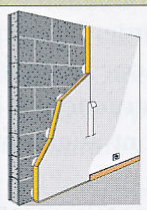
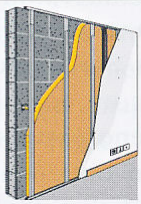
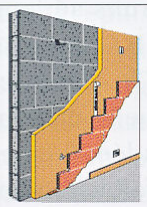
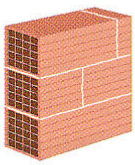
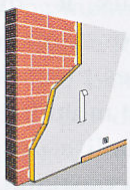
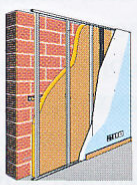
Exemples de performances acoustiques des murs (Sources : Isover, Placo)				
Isolation par l'intérieur				
Type de paroi	Système d'isolation	Type d'isolant	Performances avant isolation R_w [C; C_{tr}]	Performances après isolation R_w [C; C_{tr}]
 Parpaings creux de 20 cm avec enduit	Complexe collé 	Complexe laine de verre et plaque de plâtre (10 + 80)	56 [-2; -5] dB	68 [-3; -11] dB
		Complexe polystyrène expansé et plaque de plâtre (10 + 80)	56 [-1; -4] dB	58 [-3; -7] dB
		Complexe polystyrène expansé élastifié et plaque de plâtre (10 + 80)	56 [-2; -4] dB	74 [-3; -10] dB
	Ossature métallique 	Laine minérale de 100 mm Ossature métallique Plaque de plâtre BA 13	53 [-1; -2] dB	76 [-4; -11] dB
		Laine minérale de 100 mm Ossature métallique Lambris bois	53 [-1; -2] dB	71 [-4; -11] dB
		Laine minérale de 85 mm Ossature métallique 2 plaques de plâtre BA 13	53 [-1; -2] dB	72 [-1; -6] dB
	Contre-cloison 	Laine minérale de 100 mm Brique plâtrière de 35 mm Enduit de plâtre de 15 mm	53 [-1; -2] dB	77 [-2; -6] dB
 Brique de 200 mm avec enduit de mortier	Complexe collé 	Complexe laine de verre et plaque de plâtre (10 + 80)	48 [0; -2] dB	69 [-2; -7] dB
		Complexe polystyrène expansé et plaque de plâtre (10 + 80)	45 [0; -2] dB	51 [-1; -5] dB
		Complexe polystyrène expansé élastifié et plaque de plâtre (10 + 80)	48 [-1; -3] dB	66 [-2; -7] dB
	Ossature métallique 	Laine minérale de 100 mm Ossature métallique Plaque de plâtre BA 13	42 [-0; -2] dB	68 [-2; -9] dB
		Laine minérale de 75 mm Ossature métallique Plaque de plâtre BA 13	45 [-0; -3] dB	66 [-2; -7] dB
		Laine minérale de 85 mm Ossature métallique 2 plaques de plâtre BA 13	42 [-0; -2] dB	73 [-2; -7] dB
	Contre-cloison	Laine minérale de 100 mm Brique plâtrière de 35 mm Enduit de plâtre de 15 mm	42 [-0; -2] dB	73 [-2; -7] dB

Figure 178 : Les performances acoustiques des murs

Exemples de performances acoustiques des murs (Sources : Isover, Placo, Xella, Vienenberger)

Isolation par l'intérieur et monomurs

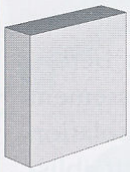
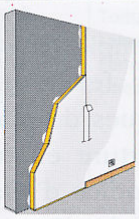
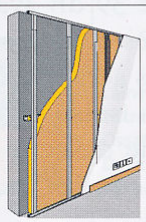
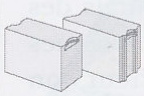
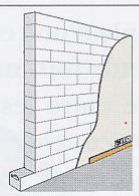
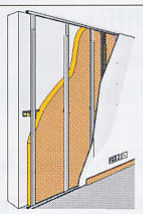
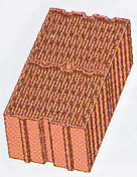
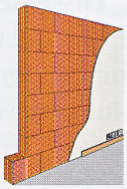
Type de paroi	Système d'isolation	Type d'isolant	Performances avant isolation R_w [C; C_{tr}]	Performances après isolation R_w [C; C_{tr}]
 Mur en béton de 16 cm avec enduit	Complexe collé 	Complexe laine de verre et plaque de plâtre (10 + 80)	57 [-1; -5] dB	69 [-2; -7] dB
		Complexe polystyrène expansé et plaque de plâtre (10 + 80)	60 [-2; -6] dB	57 [-2; -7] dB
		Complexe polystyrène expansé élastifié et plaque de plâtre (10 + 80)	57 [-1; -4] dB	71 [-3; -8] dB
	Ossature métallique 	Laine minérale de 85 mm Ossature métallique Plaque de plâtre BA 13	58 [-1; -4] dB	71 [-2; -6] dB
		Laine minérale de 85 mm Ossature métallique 2 plaques de plâtre BA 13	58 [-1; -4] dB	77 [-2; -7] dB
 Mur en blocs de béton cellulaire avec enduit deux faces	Sans isolation 	Blocs de 300 mm	49 [-1; -5] dB	-
	Avec isolation 	Blocs de 250 mm Complexe laine minérale et plaque de plâtre (10 +70)	48 [-1; -4] dB	63 [-2; -10] dB
 Monomur en briques à alvéoles verticales	Sans isolation 	Blocs de 300 mm	41 [0; -2] dB	-
		Blocs de 350 mm	43 [0; -2] dB	-
		Blocs de 500 mm	50 dB	-

Figure 179 : L'isolation acoustique des monomurs et en isolation par l'intérieur

En prenant différents exemples avec des isolants fibreux, on constate que les meilleures performances sont atteintes lorsque la masse de la paroi intérieure est élevée. C'est l'effet masse/ressort/masse. Par exemple, pour un système sur ossature métallique, les performances augmentent sensiblement si l'on double les plaques de plâtre. Il en est de même si l'on opte pour une technique avec contre-cloison.

Prenons un autre exemple, un mur en parpaings isolé avec une laine minérale de 100 mm, une ossature métallique et deux plaques de plâtre. Dans ce cas de figure, l'indice d'affaiblissement acoustique R_W passe de 53 dB avant isolation à 76 dB après isolation. En réalisant une contre-cloison en briques plâtrières, on fait évoluer l'indice de 53 à 77 dB. En revanche, l'affaiblissement acoustique aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ est de 65 dB dans le cas d'une ossature métallique et de 71 dB dans le cas de briques plâtrières.
Malgré tout, les valeurs restent plus performantes que les exigences minimales de la NRA. Bien entendu, plus les performances sont élevées, même au-delà des niveaux exigés par la réglementation, plus grand sera le confort.

Les combles

Pour l'isolation acoustique des combles (figure 180), on ne bénéficie plus de l'effet masse offert par les murs en dur. Par conséquent, tout se joue sur les performances de l'isolant et sur le parement intérieur pour assurer un confort acoustique acceptable dans cette partie de la maison. Il faut prendre en considération l'environnement acoustique de l'habitation et le type de nuisances potentielles. En règle générale, les niveaux d'isolation acoustique possibles dans ce cas ne sont pas exceptionnels, cependant ils sont suffisants pour respecter la réglementation en vigueur.
En prenant l'exemple de combles non habitables avec fermettes, plafond rapporté en plaques de plâtre sous les entrais et couverture en tuiles béton, on constate un indice d'affaiblissement acoustique R_W de 39 dB avant isolation et de 55 dB après isolation. L'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ est de 37 dB sans isolation. Grâce à une isolation par laine de verre soufflée de 300 mm d'épaisseur, cet indice passe à 47 dB.
En prenant l'exemple d'une configuration similaire, avec cette fois une isolation par laine minérale entre les entrais des fermettes et deux couches de plaques de plâtre en parement intérieur, on passe d'un affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ de 17 dB avant isolation, soit la toiture seule, à 46 dB après isolation.
Si les combles sont habitables et si l'isolation thermique consiste en une couche de laine minérale entre fermettes de 200 mm d'épaisseur, l'indice d'affaiblissement acoustique R_w passe de 37 dB avant isolation à 50 dB après isolation. L'affaiblissement aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ passe quant à lui respectivement de 30 à 38 dB.

Dans le cas de combles habitables avec charpente traditionnelle, l'indice d'affaiblissement acoustique R_w est toujours de 17 dB avant isolation. En installant 160 mm de laine minérale sous chevrons, une ossature métallique et deux plaques de plâtre en parement, on porte cet indice à 43 dB. L'indice d'affaiblissement

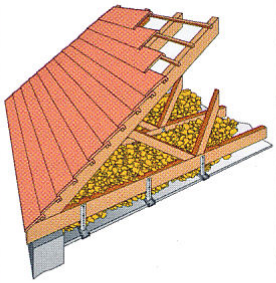
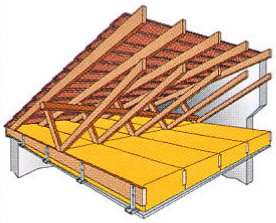
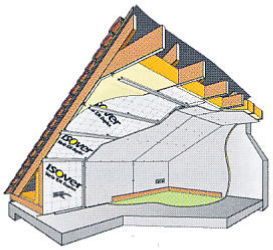
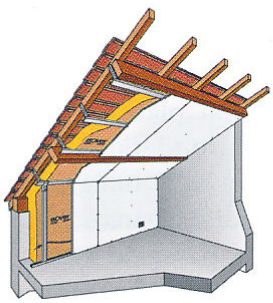
Exemples de performances acoustiques des combles (Source Isover)			
Système d'isolation	Constitution	Performances avant isolation R_w [C; C_{tr}]	Performances après isolation R_w [C; C_{tr}]
	Toiture tuiles béton Laine de verre soufflée (300 mm) Fermettes à entraxe de 0,60 m Une plaque de plâtre BA 13	39 [-1; -2] dB (combles sans isolant)	55 [-2; -8] dB
	Laine minérale de 260 mm calé entre fermettes Ossature métallique sur suspentes Deux plaques de plâtres BA 13	17 [-1; 0] dB (toiture seule)	51 [-2; -5] dB
	Couverture Écran sous toiture HPV Laine minérale entre fermettes (200 mm) Membrane hygrorégulante Ossature métallique Une plaque de plâtre BA 13	37 [-2; -7] dB (combles sans isolant)	50 [-4; -12] dB
	Couverture Laine minérale (160 mm) Pare-vapeur Ossature métallique Deux plaques de plâtre BA 13	17 [-1; 0] dB (toiture seule)	43 [-3; -8] dB

Figure 180 : Les performances acoustiques des combles isolés

aux bruits aériens extérieurs $R_{A,tr}$ est de 17 dB avant isolation et de 35 dB après isolation.

On peut obtenir un indice d'affaiblissement acoustique pondéré R_w de 48 dB en réalisant une isolation thermique par l'extérieur. À base de fibres de bois et réalisée sur chevrons, elle est composée, de l'intérieur vers l'extérieur, d'un lambrissage, d'un freine-vapeur, de 100 mm

de panneaux de fibres de bois, de 60 mm de panneaux de fibres de bois avec couche pare-pluie, d'une lame d'air et d'une couverture.

Les planchers

Selon les applications et les types de mises en œuvre, nous indiquerons les valeurs concernant les bruits d'impact, soit mesurées *in situ* (niveau de pression pondéré du bruit de choc $L'_{nT,W}$), soit mesurées en laboratoire (réduction du niveau de bruits de choc pondéré ΔL_W). Rappelons simplement que plus $L'_{nT,W}$ est faible, meilleures sont les performances. En revanche, plus ΔL_W est grand, meilleur est le résultat obtenu.
En ce qui concerne les planchers lourds (figure 181), le principe consiste toujours à désolidariser le sol fini du plancher porteur en mettant en œuvre une chape flottante sèche ou humide, un sol flottant ou bien un revêtement de sol.

Prenons l'exemple d'une chape flottante. Sur une dalle béton de 140 mm, avec chape flottante de 40 mm, une sous-couche en laine de roche de 2 cm, cette solution permet une réduction du niveau de bruit ΔL_W de 24 dB. Avec une épaisseur d'isolant de 4 cm, cet indice est porté à 27 dB. Avec un isolant en laine de verre de 1,2 cm ΔL_W est de 25 dB. Avec une épaisseur d'isolant de 1,5 cm, le niveau atteint est de 29 dB.

En ce qui concerne l'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, l'indice passe de 55 dB avant isolation à 60 ou 61 dB, avec une isolation en laine de roche. Si l'isolant est de la laine de verre ces valeurs sont respectivement de 60 et 65 dB.

En prenant le même exemple mais en utilisant cette fois un voile de verre bitumé comme sous-couche de désolidarisation, les résultats sont sensiblement différents. La réduction des bruits de choc ΔLw n'est plus que de 19 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, passe de 56 dB avant isolation à 57 dB après isolation. Par conséquent, on constate qu'une sous-couche épaisse est plus performante contre les bruits d'impact et offre un meilleur affaiblissement aux bruits aériens.

Dans le cas d'un surplancher installé sur pieds distanceurs, avec une isolation en laine de verre de 8 cm et une moquette comme revêtement de sol, l'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, passe de 52 dB avant isolation à 60 dB après isolation. Le niveau de bruit de choc $L'_{nT,W}$ passe respectivement de 79 dB à 50 dB. Si le revêtement de sol est stratifié et posé sur une sous-couche en fibres de bois, le niveau passe alors à 53 dB.
Pour améliorer l'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, il est également possible de traiter le plancher par le dessous. La dernière vignette de la figure 181 présente un plancher en hourdis béton avec plafond rapporté sur ossature à grande portée, intégrant un isolant fibreux minéral. Dans cette configuration, l'indice R_A passe de 49 dB avant isolation à 70 dB après isolation. En revanche, les bruits d'impact ne sont pas traités et continueront de se propager par les parois verticales.
En ce qui concerne les planchers légers, vous trouverez un exemple à la figure 182. En supposant que seul le local supérieur est isolé grâce à une chape flottante sèche, composée de panneaux de laine de verre de 13 mm, supportant

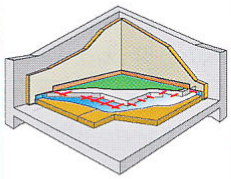
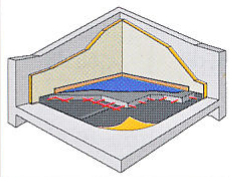
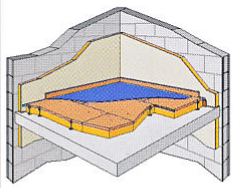
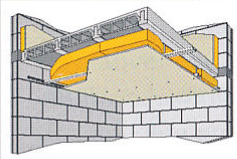
Exemples de performances acoustiques des planchers (source Isover)					
Planchers lourds					
Type de solution	Composition du plancher	Performances avant isolation		Performances après isolation	
		R_w [C; C_{tr}]	$L_{n,w}$	R_w [C; C_{tr}]	ΔL_w
	Dalle béton de 140 mm Isolant : laine de roche (2 cm) Film polyane 100 µ Chape flottante de 40 mm	56 [-1; -7] dB	77 dB	65 [-4; -12] dB	24 dB
	Dalle béton de 140 mm Isolant : laine de roche (4 cm) Film polyane 100 µ Chape flottante de 40 mm	56 [-1; -7] dB	77 dB	67 [-7; -16] dB	27 dB
	Dalle béton de 140 mm Isolant : laine de verre (1,2 cm) Film polyane 100 µ Chape flottante de 40 mm	57 [-2; -7] dB	76 dB	68 [-8; -16] dB	25 dB
	Dalle béton de 140 mm Isolant : laine de verre (1,52 cm) Film polyane 100 µ Chape flottante de 40 mm	57 [-2; -6] dB	76 dB	70 [-5; -13] dB	29 dB
	Dalle béton de 140 mm Isolant : voile de verre bitumé (2,8 mm) Chape flottante de 40 mm	57 [-1; -6] dB	76 dB	61 [-4; -9] dB	19 dB
	Dalle béton de 140 mm Isolant : laine de verre (80 mm) Pieds distanceurs Dalles de 30 mm Moquette	54 [-2; -6] dB	79 dB	61 [-1; -5] dB	$L_{n,w}$ 50 dB
	Dalle béton de 140 mm Isolant : laine de verre (80 mm) Pieds distanceurs Dalles de 30 mm Sous-couche en fibres de bois (7 mm) Sol stratifié	54 [-2; -6] dB	79 dB	62 [-2; -6] dB	$L_{n,w}$ 53 dB
	Plancher hourdis (160 mm) Dalle de compression (40 mm) Isolant : laine de verre (100 mm) Ossature métallique longue portée ou avec suspentes antivibratiles Plaque de plâtre BA 13	51 [-2; -6] dB	NC	74 [-4; -10] dB	NC

Figure 181 : Les performances acoustiques des planchers lourds

des dalles de sol en CTBH, le résultat est un niveau pondéré aux bruits de choc $L'_{nT,W}$ qui passe de 94 dB avant isolation à 79 dB après isolation. L'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux n'est diminué que de façon anecdotique.

Pour de meilleures performances, on peut retenir la même solution dans le local supérieur mais avec cette fois un isolant en laine de roche de 40 mm d'épaisseur, et en traitant également le local inférieur. En y installant un plafond

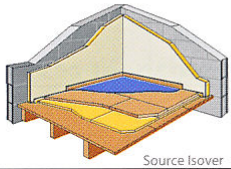
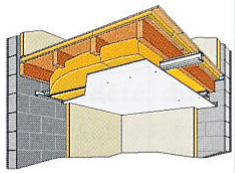
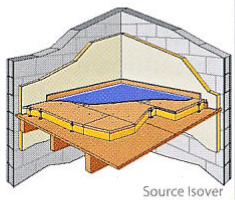
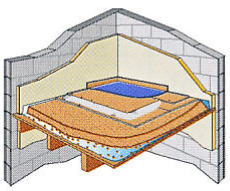
Exemples de performances acoustiques des planchers					
Planchers légers					
Type de solution	Composition du plancher	Performances avant isolation		Performances après isolation	
		R_w [C; C_{tr}]	$L_{n,w}$	R_w [C; C_{tr}]	$L_{n,w}$
 Source Isover	Solives à entraxe de 510 mm Dalles CTBH (22 mm) Isolant : laine de verre (13 mm) Dalles CTBH rainurées 4 faces de 22 mm d'épaisseur	27 [-1; -3] dB	94 dB	NC	79 dB
 Source Isover	Dalles CTBH (22 mm) Isolant : laine de roche (40 mm) Dalles CTBH (22 mm) Solives Isolant : laine de verre (200 mm) Ossature métallique longue portée Plaque de plâtre BA 13	27 [-1; -3] dB	94 dB	68 [-4; -10] dB	51 dB 43 dB*
 Source Isover	Solives à entraxe de 510 mm Dalles CTBH (22 mm) Pieds distanceurs Isolant : laine de verre (100 mm) Dalles de sur-plancher (30 mm) Moquette	27 [-1; -3] dB	94 dB	46 [-2; -8] dB	68 dB
	Solives à entraxe de 510 mm Dalles CTBH (22 mm) Pieds distanceurs Isolant : laine de verre (100 mm) Dalles de sur-plancher (30 mm) Sous-couche fibres de bois Sol stratifié	27 [-1; -3] dB	94 dB	45 [-2; -8] dB	71 dB
	Plafond suspendu isolé avec 100 mm de laine de verre Solives à entraxe de 510 mm Dalles CTBH (22 mm) Pieds distanceurs Isolant : laine de verre (30 mm) Dalles de sur-plancher (30 mm) Moquette	27 [-1; -3] dB	94 dB	60 [-5; -13] dB	53 dB
 Source Placo®	Plancher bois sur solives Forme de granules (8 cm) 2 plaques de plâtre sol	26 [-1; -4] dB	92 dB	48 [-2; -6] dB	70 dB
	Plancher bois sur solives Forme de granules (4 cm) 2 plaques de plâtre sol	26 [-1; -4] dB	92 dB	47 [-2; -6] dB	69 dB
	Plafond suspendu isolé Plancher bois sur solives Forme de granules (8 cm) 2 plaques de plâtre sol	26 [-1; -4] dB	92 dB	63 [-5; -12] dB	52 dB
* Valeur avec revêtement de sol souple.					

Figure 182 : Les performances acoustiques des planchers légers

rapporté, sur ossature métallique longue portée ou avec suspentes antivibratiles, plus 200 mm de laine de verre, on obtient un niveau pondéré aux bruits de choc $L'_{nT,W}$ de 51 dB au lieu des 94 dB avant isolation. En optant pour un revêtement de sol souple, l'indice tombe à 43 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, atteint 64 dB au lieu des 26 dB avant isolation. On constate que le traitement complémentaire par le dessous est très bénéfique.

Dans le cas d'une chape sèche à base de granules isolantes, sur un plancher ancien et pour une forme de 4 cm d'épaisseur, on obtient un niveau pondéré aux bruits de choc $L'_{nT,W}$ de 69 dB au lieu du niveau d'origine de 94 dB. Avec une forme de 8 cm d'épaisseur, on atteint 70 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, passe de 25 dB avant isolation à 45 ou 46 dB après isolation.

Si l'on traite aussi par le dessous, avec un plafond rapporté isolé, le niveau pondéré aux bruits de choc $L'_{nT,W}$ passe à 52 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens passe à 62 dB.
Les surplanchers sur pieds distanceurs permettent également d'obtenir des performances satisfaisantes. Grâce à cette solution, avec une épaisseur de 100 mm de laine de verre et une moquette comme revêtement de sol, le niveau pondéré aux bruits de choc $L'_{nT,W}$ est réduit de 94 à 68 dB. Si le revêtement de sol est un parquet flottant sur sous-couche en fibres de bois, l'indice atteint 71 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens entre locaux, R_A, passe de 26 dB avant isolation à 43 ou 44 dB après isolation.
Si l'on traite par le dessous avec un plafond rapporté isolé par 100 mm de laine de verre, le niveau pondéré aux bruits de choc $L'_{nT,W}$ tombe à 53 dB. L'affaiblissement aux bruits aériens est alors de 55 dB.

Les solutions thermo-acoustiques hautes performances

La plupart des solutions thermiques et acoustiques présentées jusqu'ici sont traditionnelles. Elles permettent d'atteindre relativement facilement des niveaux d'isolation conforme à la réglementation, avec des épaisseurs d'isolant modérées. Pour obtenir des performances beaucoup plus élevées, il convient d'augmenter sensiblement l'épaisseur des isolants. Vous obtiendrez des niveaux d'isolation dignes de la maison passive ou de la maison à énergie zéro. Si, pour l'heure, ces solutions sont encore confidentielles, elles sont promises à un bel avenir pour agir concrètement dans le sens de la baisse de la consommation énergétique des bâtiments. Bien entendu, elles impliquent un changement d'habitudes et de méthodes, notamment la nécessité de recourir systématiquement aux techniques de l'isolation par l'extérieur pour en finir avec les inconvénients que sont les ponts thermiques et la perte de l'inertie.

Opter pour une isolation hautes performances est un investissement et un excellent moyen de réduire sa consommation d'énergie. Des solutions pratiques et concrètes existent, présentées dans ce chapitre. Elles sont basées sur des épaisseurs importantes d'isolant, seul moyen efficace pour renforcer les performances. Cependant cette nécessité n'en est déjà presque plus une, puisque

s'annonce la génération des nouveaux isolants, comme les PIV et les aérogels, dont vous trouverez aussi des exemples de réalisations et de performances.

Les solutions pour les parois verticales

Si l'on considère un mur extérieur nu typique en briques perforées de 25 cm d'épaisseur, on constate un coefficient U égal à 0,84 W/m².K environ, dans l'hypothèse la plus favorable. Il est possible d'atteindre la haute performance de U = 0,10 W/m².K grâce aux systèmes d'isolation par l'extérieur (figure 183). Les exemples montrés comportent un enduit intérieur d'une épaisseur de 1,5 cm.
Par exemple, avec 36 cm de polystyrène expansé collé, recouvert d'un treillis de fibres et d'un enduit, pour une épaisseur totale du mur de 63,9 cm, on atteint le niveau U attendu. Quant à l'indice d'affaiblissement acoustique R_w, il est de 48 dB.
Pour obtenir la même performance, on peut aussi réaliser un bardage bois rapporté avec deux épaisseurs de laine minérale pour façade, fixées mécaniquement. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w sera meilleur grâce à la nature de l'isolant, soit supérieur à 60 dB. L'épaisseur totale de la paroi extérieure atteint 64,5 cm.

De même, la technique constructive du double mur est une solution possible. Elle permet également d'arriver à ce même niveau U de 0,10 W/m².K. Si la coulisse est remplie, il convient alors d'utiliser deux épaisseurs de laine minérale pour façade, de 16 cm d'épaisseur chacune. Le mur de parement comprend une épaisseur de 12 cm de briques pleines recouvertes d'un enduit extérieur de 1,5 cm. L'épaisseur totale du mur extérieur sera de 72 cm. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w sera supérieur à 59 dB.
Si on conserve une lame d'air dans la coulisse du double mur, on peut également atteindre cette valeur U. Il faut, dans ce cas également, deux épaisseurs de 16 cm de laine minérale. La lame d'air dans la coulisse mesure 4 cm d'épaisseur. Le mur de parement est composé de briques pleines de 12 cm. L'épaisseur totale du mur extérieur atteint 74,5 cm. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 64 dB, ce qui représente la plus haute performance parmi celles présentées.
On constate que, pour obtenir une telle valeur de coefficient de transmission surfacique U, il faut mettre en œuvre une épaisseur d'isolant de 32 à 38 cm. On comprend encore une fois que de telles solutions sont résolument inconcevables en isolation par l'intérieur.

Les solutions pour planchers sur terre-plein

Il est possible également d'obtenir des valeurs aussi exceptionnelles pour un plancher sur terre-plein. Dans cette hypothèse, il faut rappeler que les parois verticales demeurent isolées par l'extérieur. Dans les divers exemples qui suivent on constatera que la partie basse des fondations est isolée sur toute leur hauteur, en prolongement de l'isolation des murs.

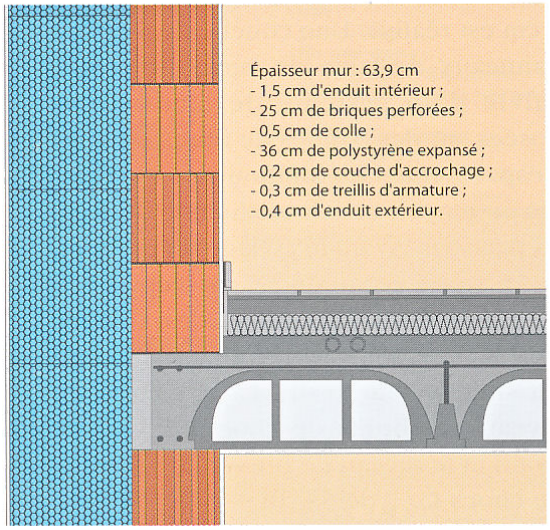
Plusieurs méthodes sont possibles pour atteindre un coefficient de transmission surfacique U de 0,10 W/m².K. L'isolant épais est moins pénalisant que dans le

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (murs extérieurs)

Source Isover

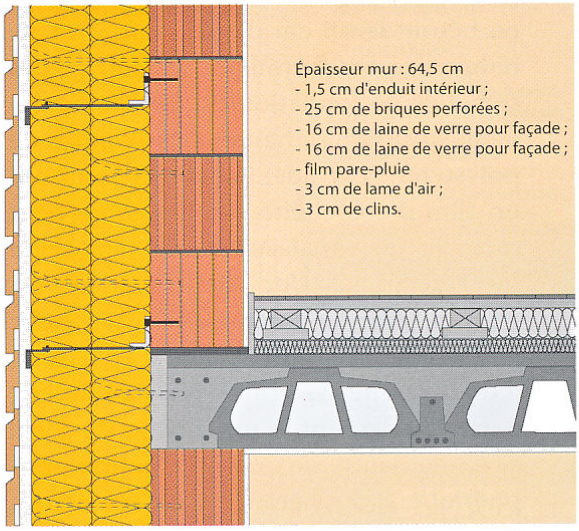
Isolation par l'extérieur avec polystyrène expansé

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 48 dB**



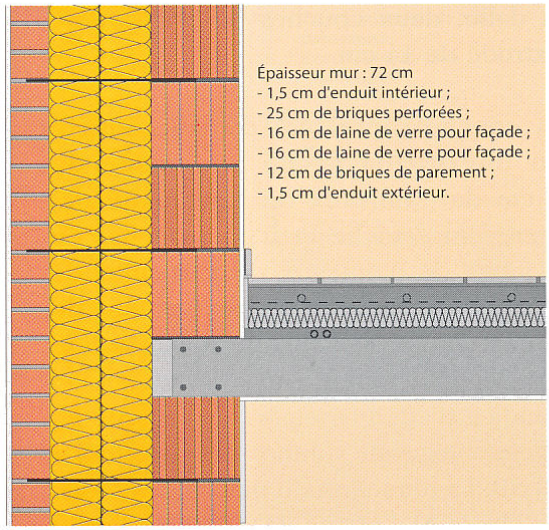
Isolation par l'extérieur avec bardage rapporté

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 60 dB**



Double mur isolé sans lame d'air

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 59 dB**



Double mur isolé avec lame d'air

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 64 dB**

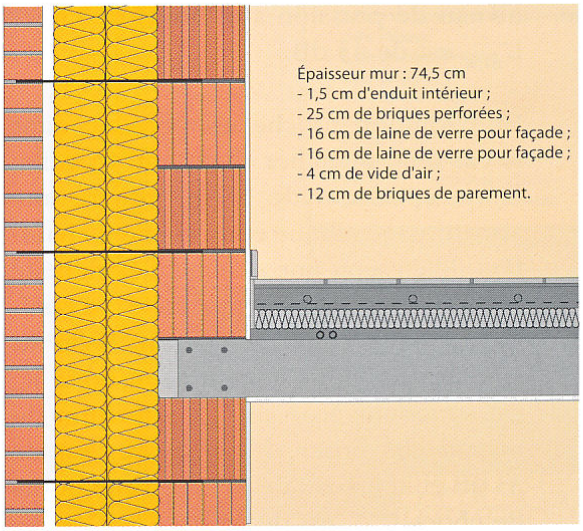


Figure 183 : Exemples d'isolation thermo-acoustique hautes performances des murs extérieurs

cas des parois verticales, puisqu'il est en grande partie situé sous la dalle.
Dans le premier exemple de la figure 184, le terre-plein est recouvert d'une couche de graviers compactée et d'un béton de propreté. Une couche de 18 cm de polystyrène extrudé accueille une dalle en béton de 18 cm d'épaisseur. Afin de réduire le pont thermique, le jambage des semelles de fondation est habillé également sur toute sa hauteur de plaques de polystyrène extrudé. Sur la dalle est posé un film d'étanchéité. Le ravoirage peut recevoir les canalisations de plomberie ou d'électricité. Une chape flottante est réalisée. Elle se compose d'une couche de laine minérale de 5,5 cm d'épaisseur, d'une couche de polystyrène de 20 cm, d'un pare-vapeur, d'une chape de 5 cm et d'une bande de désolidarisation périphérique. Le revêtement de sol est un parquet de 1,5 cm d'épaisseur, collé en plein. La chape flottante évite la transmission des bruits d'impact du sol vers les parois verticales. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w obtenu est supérieur à 63 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 35 dB. Le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ est de 43 dB.

Une solution proche est possible dans le cas d'un plancher chauffant. La dalle, d'une épaisseur de 7 cm, intègre une armature métallique et un élément chauffant. Elle reçoit une couche d'étanchéité liquide, puis un carrelage collé. Le coefficient U est toujours de 0,10 $W/m^2.K$. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 63 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 33 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ est de 45 dB.
Avec un parquet collé, une autre solution est possible, qui consiste à renforcer l'isolation sous la dalle, afin de préserver la hauteur sous plafond de la pièce. L'isolation sous dalle consiste en deux couches de 12 cm de panneaux de polystyrène extrudé. La dalle elle-même a une épaisseur de 12 cm. Après la pose d'un film d'étanchéité, un ravoirage de 4 cm est réalisé. Une couche de 3 cm de panneaux de laine de verre est posée, suivie d'un système de lambourdes posées sur des bandes de fibres de bois. L'espace entre les lambourdes est comblé au moyen de laine minérale de 8 cm d'épaisseur. Avant le collage du parquet, des plaques de sol de 2,5 cm d'épaisseur sont clouées sur les lambourdes. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w obtenu est supérieur à 56 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 24 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ de 54 dB.

Enfin, une dernière solution est possible pour réduire encore légèrement l'épaisseur de l'isolation au-dessus du plancher. La disposition des éléments est identique à l'exemple précédent jusqu'à l'étape du ravoirage, mis à part le fait qu'il faut, sous la dalle, deux couches de polystyrène extrudé de 14 cm.

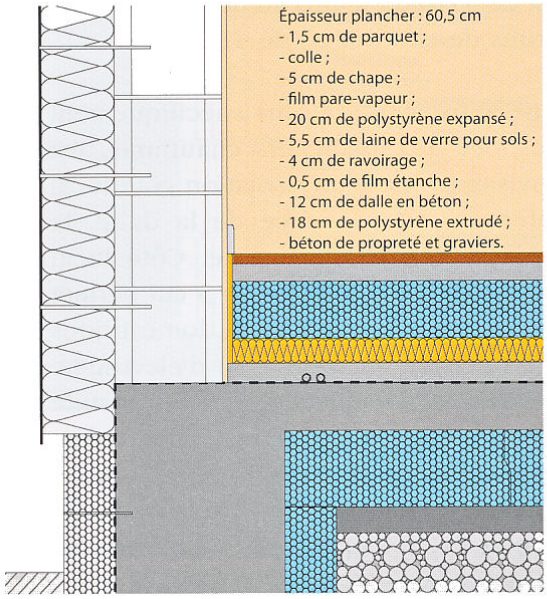
La couche supérieure du sol consiste en une chape sèche composée de 6 cm de panneaux de laine minérale, d'un film étanche et d'un plancher en plaques de panneaux de particules de 3,8 cm d'épaisseur. Le revêtement de sol est un parquet flottant posé sur une sous-couche mince.
L'indice d'affaiblissement acoustique R_w atteint avec cette solution est supérieur à 60 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 24 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ est de 54 dB.

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (sols/terre-plein)

Source Isover

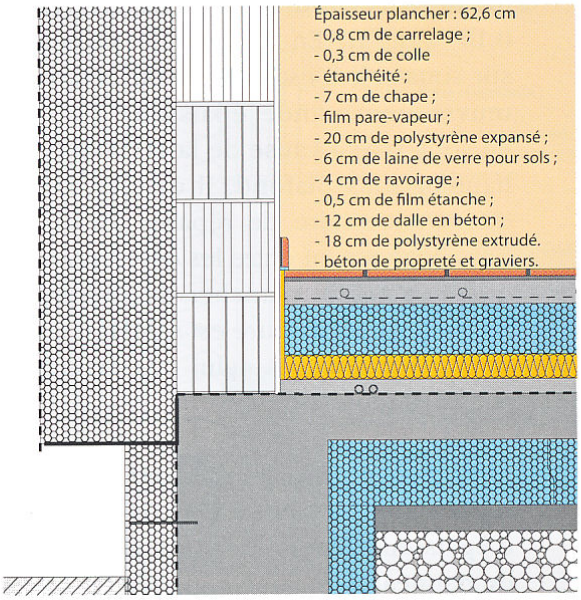
Isolation avec parquet collé

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 63 dB ΔLw = 35 dB LnT,w = 43 dB



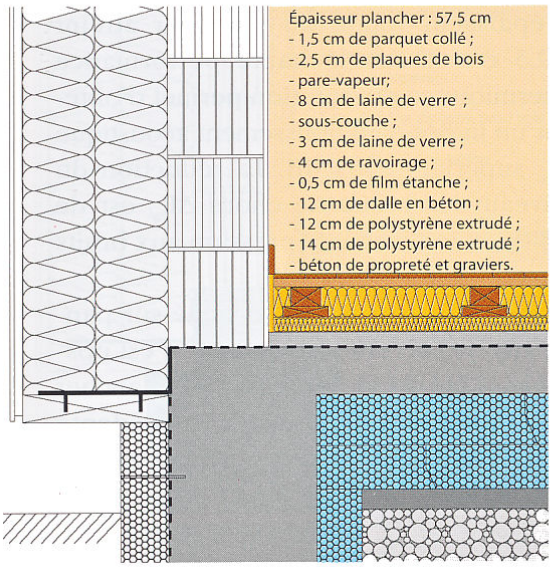
Isolation avec sol chauffant et carrelage

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 63 dB ΔLw = 33 dB LnT,w = 45 dB



Isolation avec parquet

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 56 dB ΔLw = 24 dB LnT,w = 54 dB



Isolation avec parquet flottant

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 60 dB ΔLw = 24 dB LnT,w = 54 dB

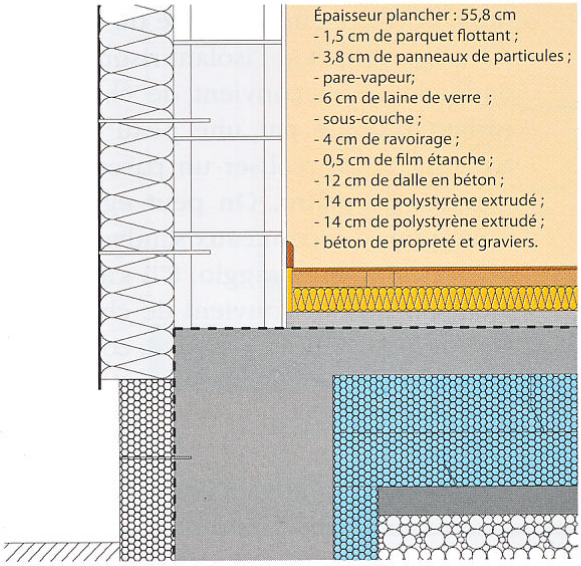


Figure 184 : Exemples d'isolation thermo-acoustique hautes performances d'un plancher sur terre-plein

Les solutions pour planchers sur sous-sol

Les solutions qui suivent demeurent fondées sur un objectif de coefficient de transmission surfacique U égal à 0,10 W/m².K. En matière de planchers sur sous-sol, il est difficile de mettre en œuvre une grande épaisseur d'isolant en sous-face à cause de la contrainte de hauteur sous plafond. Il est par conséquent nécessaire de répartir du mieux possible l'isolant entre les côtés inférieur et supérieur du plancher. Le traitement de la partie supérieure est similaire en de nombreux points à celui des planchers sur terre-plein.

À la figure 185, le premier exemple représente une dalle en béton de 20 cm d'épaisseur dont la sous-face est habillée de panneaux de laine minérale de 12 cm d'épaisseur et fixés mécaniquement au moyen de chevilles étoile. La portion de murs du sous-sol située au-dessus du niveau du sol extérieur doit également être isolée avec un débordement généreux. Si le secteur concerné du sous-sol est accessible et si l'isolant risque d'être endommagé, il convient de choisir un isolant protégé par une peau de protection, ou de réaliser un parement en plaques de plâtre. On peut également opter pour des panneaux sandwich avec une couche de fibragglo. S'il s'agit d'un vide sanitaire, il convient de choisir un isolant insensible à l'humidité, comme un polystyrène extrudé, un polyuréthane ou du verre cellulaire.

Dans le local supérieur, on met en œuvre un ravoirage de 3 cm, une couche de laine minérale de 5,5 cm, une couche de polystyrène expansé de 14 cm, un film pare-vapeur, une chape de 5 cm, puis une moquette. L'épaisseur totale du plancher, non négligeable, atteint 60 cm. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w obtenu est supérieur à 64 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 35 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,w}$ de 41 dB.

Une autre solution plus spécifiquement destinée aux planchers chauffants, est envisageable. Pour l'isolation côté local inférieur, en sous-face de la dalle, la configuration est la même. Côté local supérieur, un ravoirage de 3 cm permet de recueillir les réseaux domestiques éventuels de plomberie ou d'électricité. Un film de désolidarisation est ensuite installé avant la réalisation d'une chape flottante. Celle-ci se compose de la façon suivante : des panneaux de laine minérale de 6 cm d'épaisseur, des panneaux de polystyrène expansé de 14 cm d'épaisseur, un film PE et une chape de 7 cm incorporant une armature et le réseau de chauffage. Le revêtement de sol sera un carrelage collé.

L'épaisseur totale du plancher atteint 59,5 cm. Outre la haute performance thermique, cette solution permet d'obtenir un indice d'affaiblissement acoustique R_w supérieur à 64 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 33 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,w}$ de 41 dB.
Dans le cas d'un parquet collé sur panneaux de sol, une autre solution est possible. Côté local supérieur, le plancher est similaire à la solution précédente d'isolation sur terre-plein, hormis le ravoirage.

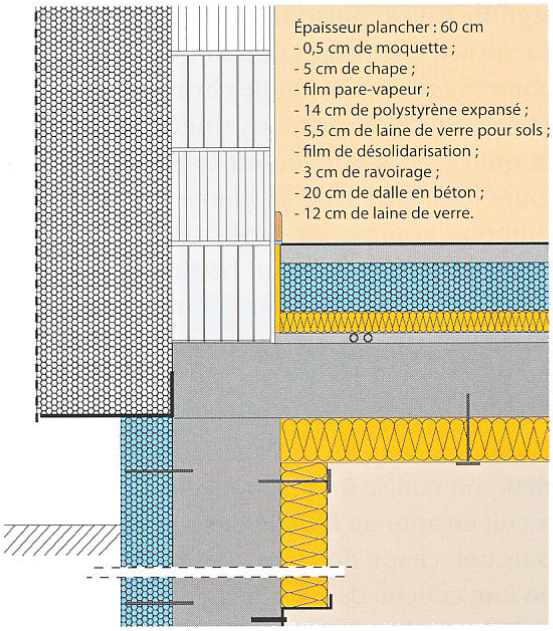
La dalle en béton a une épaisseur de 16 cm. En sous-face, l'isolation consiste en un plafond rapporté sur ossature

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (sols sur sous-sol)

Source Isover

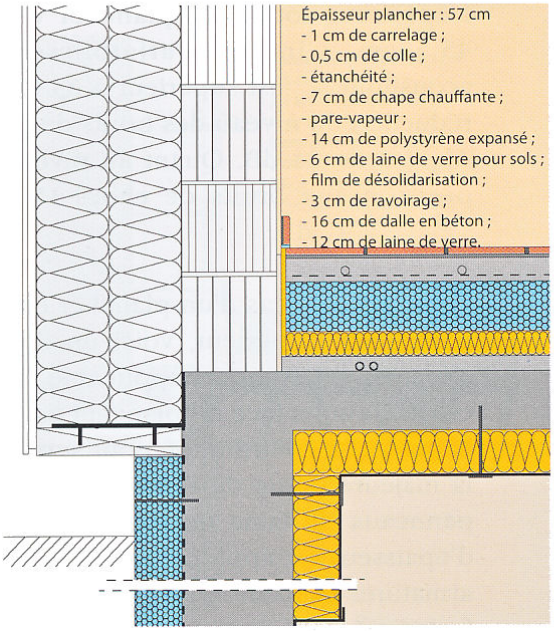
Isolation sol moquette

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 64 dB ΔLw = 35 dB LnT,w = 41 dB



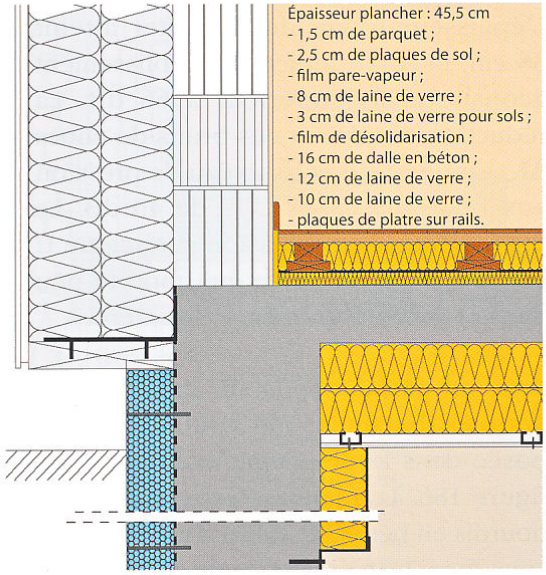
Isolation avec sol chauffant et carrelage

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 64 dB ΔLw = 33 dB LnT,w = 41 dB



Isolation avec parquet

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 63 dB ΔLw = 24 dB LnT,w = 47 dB



Plancher sur extérieur

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 63 dB ΔLw = 35 dB LnT,w = 43 dB

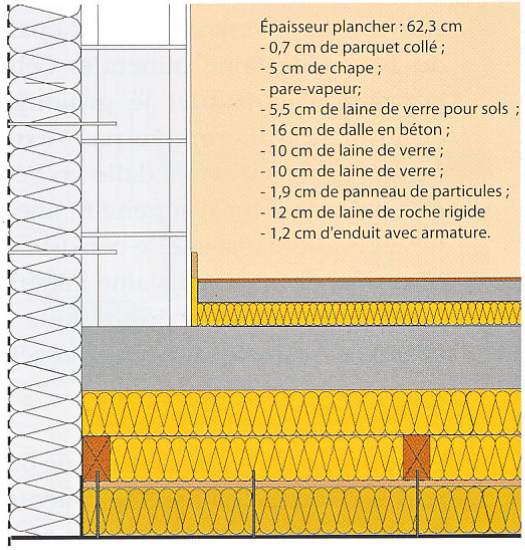


Figure 185 : Exemples d'isolation thermo-acoustique hautes performances pour un plancher sur sous-sol

métallique et incorporant deux couches de laine minérale d'épaisseur respective de 12 et 16 cm. Des plaques de plâtre constituent la peau du système.

L'épaisseur totale du plancher est de 45,5 cm. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 63 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 24 dB. Quant au niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$, il s'élève à 47 dB.

Enfin, dans le cas d'un plancher en surplomb sur l'extérieur, voici un dernier exemple de solution applicable. Dans ce cas, la sous-face du plancher est mise largement à contribution pour supporter la majeure partie de l'isolation. Sur des panneaux de laine de roche de 10 cm d'épaisseur est appliqué un enduit avec armature. La fixation de cet isolant s'effectue mécaniquement, sur des panneaux de particules de 1,9 cm d'épaisseur. Les panneaux sont eux-mêmes fixés sur deux systèmes d'ossatures secondaires en bois. Dans les espaces des ossatures, entre les chevrons, trouvent place deux épaisseurs de 10 cm de laine minérale. Cette isolation doit constituer le prolongement de l'isolation thermique par l'extérieur. Au-dessus se trouve la dalle en béton de 16 cm. Dans le local supérieur, une chape flottante est réalisée. Elle consiste en une épaisseur de 5,5 cm de laine minérale, un film PE, une bande périphérique et une chape de 5 cm d'épaisseur. Le revêtement de sol sera un parquet collé.

L'épaisseur de ce plancher est de 62,3 cm. Son indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 63 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 35 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ est de 43 dB.

Les solutions pour planchers intermédiaires

Dans le cas des planchers intermédiaires, les performances thermiques ne sont pas significatives puisque rarement utiles. La principale préoccupation est la lutte contre la transmission des bruits de choc et des bruits aériens. Le principe général et qui offre une réelle efficacité est toujours le même, c'est la chape flottante.
Prenons comme exemple un plancher composé d'une dalle en béton de 18 cm d'épaisseur, qui supporte un plancher chauffant (figure 186).

Côté local inférieur, le plancher reçoit un enduit en sous-face. Dans le local supérieur, on réalise un ravoirage de 3 cm, qui reçoit ensuite un film de désolidarisation, puis une chape flottante. Celle-ci consiste en une couche de 6 cm de laine minérale, un film polyane, une bande périphérique et une chape de 7 cm d'épaisseur intégrant une armature et un système de chauffage. Le revêtement de sol est un carrelage collé.
L'épaisseur totale du plancher atteint 36 cm, avec un indice d'affaiblissement acoustique R_w supérieur à 66 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 33 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ de 40 dB. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,45 $W/m^2.K$, ce qui importe peu dans le cadre d'un même logement.

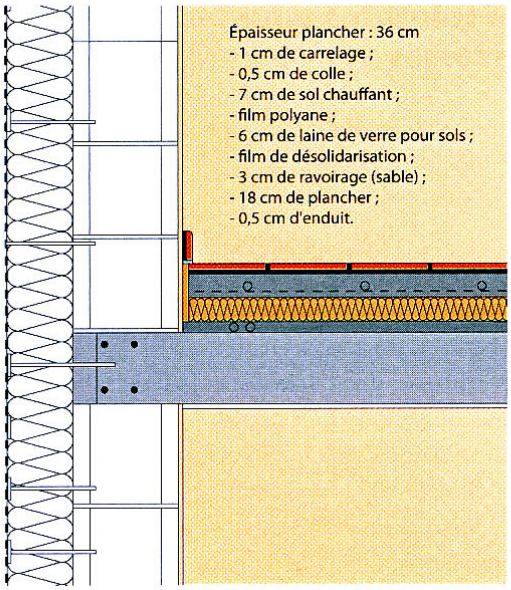
Pour un parquet collé sur dalle et lambourdes flottantes, une solution est proposée dans le deuxième exemple de la figure 186. Le plancher est composé de hourdis en béton et revêtu d'un enduit en sous-face. L'épaisseur totale du plancher est de 39,5 cm. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 58 dB. La

Exemples d'isolation acoustique de planchers intermédiaires

Source Isover

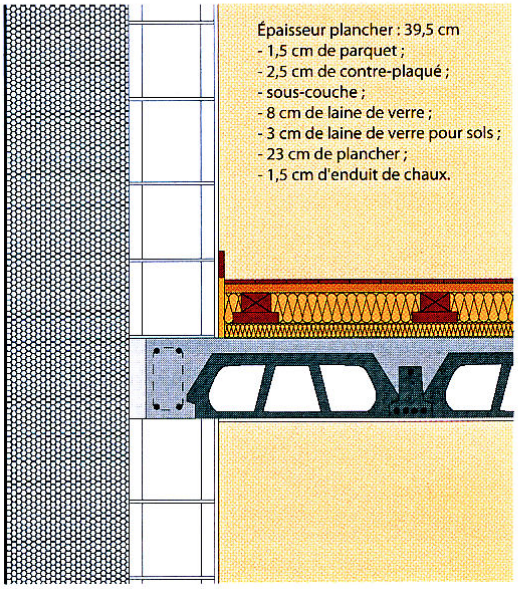
Plancher intermédiaire avec sol chauffant

Rw ≥ 66 dB ΔLw = 33 dB LnT,w = 40 dB
Up = 0,45 W/m²K



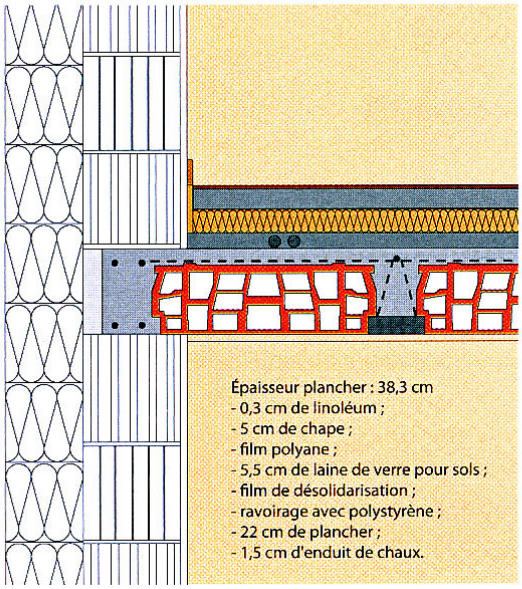
Plancher intermédiaire avec parquet

Rw ≥ 58 dB ΔLw = 24 dB LnT,w = 54 dB
Up = 0,29 W/m²K



Plancher intermédiaire avec chape flottante

Rw ≥ 64 dB ΔLw = 35 dB LnT,w = 43 dB
Up = 0,42 W/m²K



Plancher léger

Rw ≥ 70 dB LnT,w = 41 dB
Up = 0,15 W/m²K

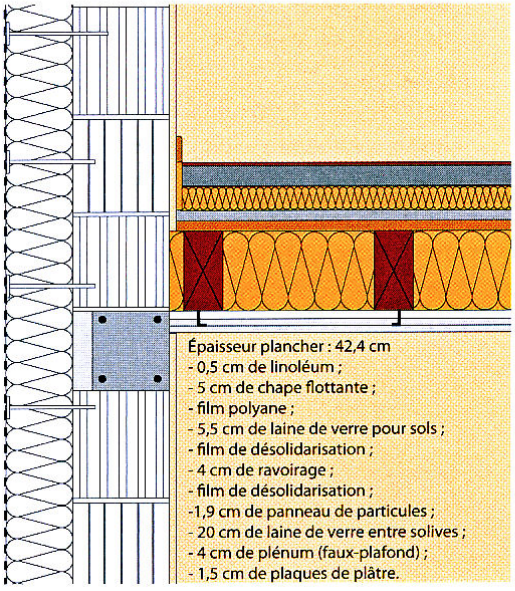


Figure 186 : Exemples d'isolation acoustique d'un plancher intermédiaire

réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 24 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ de 54 dB. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,29 W/m².K.
Le principe de la chape flottante est présenté également pour un plancher avec hourdis en terre cuite, revêtu en sous-face d'un enduit à base de chaux. Côté local supérieur, on réalise un ravoirage pour permettre éventuellement le passage des réseaux, que l'on recouvre d'un film de désolidarisation. Ensuite, la chape flottante proprement dite peut être réalisée. Elle se compose d'une épaisseur de 5,5 cm de panneaux de laine minérale, d'un film plastique, d'une chape de 5 cm et d'une bande de désolidarisation périphérique. Le revêtement de sol est du linoléum.
L'épaisseur totale du plancher est de 38,3 cm. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 64 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 35 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ de 43 dB. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,42 W/m².K.

Dans le cas d'un plancher bois, le traitement s'effectue des deux côtés comme indiqué précédemment. L'épaisseur totale du plancher est de 42,5 cm. Il consiste en un plafond rapporté en plaques de plâtre, une lame d'air de 4 cm, 20 cm de laine minérale placée entre les solives et un sol en panneaux de particules de 1,9 cm d'épaisseur. Côté local supérieur on réalise un ravoirage de 4 cm, sur lequel on pose un film de désolidarisation, puis 5,5 cm de panneaux de laine minérale, un film plastique, avant de réaliser une chape de 5,5 cm d'épaisseur. Le revêtement de sol est du linoléum. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est alors supérieur à 70 dB. Le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,W}$ est de 41 dB. Le coefficient de transmission surfacique U atteint 0,15 W/m².K.

Les solutions pour les toitures-terrasses

Pour les toitures-terrasses, les solutions préconisées ci-après sont valables avec une isolation thermique par l'extérieur qui assure la continuité parfaite de l'isolant et supprime tout pont thermique. L'acrotère doit donc être isolé en relevé et en partie supérieure. Sur la face supérieure de l'acrotère, une bavette métallique assure la protection contre les intempéries. Dans les exemples présentés à la figure 187, le plancher supérieur se compose d'une dalle en béton de 20 cm d'épaisseur. Les performances aussi bien thermiques qu'acoustiques sont à prendre en compte. Grâce à sa masse, la dalle offre par nature une isolation correcte aux bruits aériens. Les bruits d'impact ne sont pas importants dans cette partie de la construction.

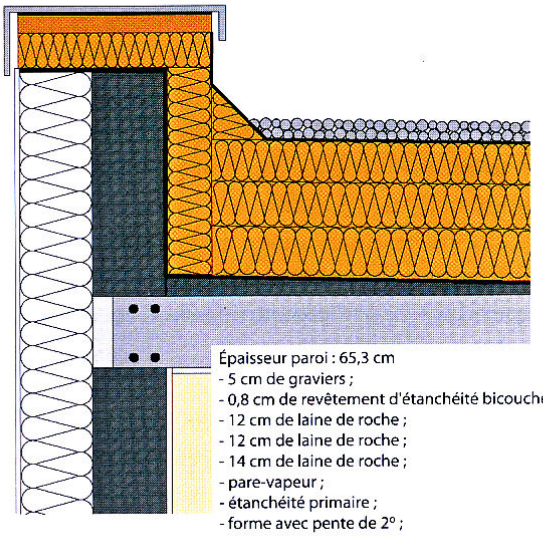
Le cas de figure classique consiste à utiliser un isolant fibreux minéral comme la laine de roche. L'étanchéité se situe au-dessus de l'isolant pour le protéger, car au contact de l'humidité, il perdrait une partie de ses performances. L'ensemble est maintenu sous une protection lourde, c'est-à-dire une couche de graviers.
Sur la dalle, il convient de réaliser une forme inclinée pour permettre l'évacuation des eaux de pluie et qui sera recouverte d'une étanchéité primaire. Ensuite on installe un pare-vapeur, puis l'isolant thermique. Celui-ci comprend trois couches de laine de roche (de 14, 12 et 12 cm). L'isolant est recouvert d'une

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (toitures plates)

Source Isover

Isolation support d'étanchéité sous protection lourde

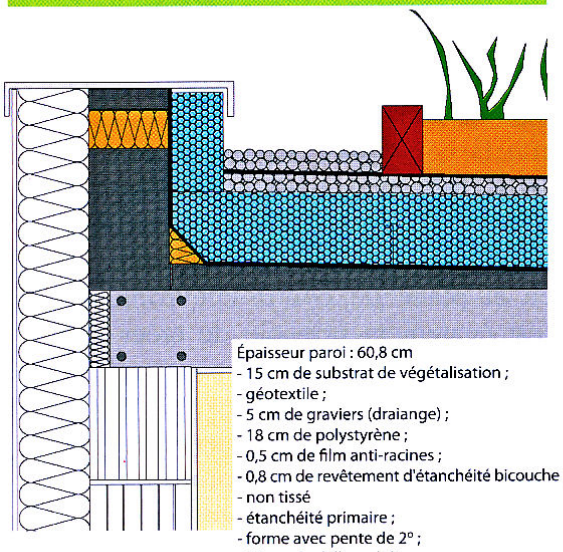
Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 60 dB**



Épaisseur paroi : 65,3 cm
- 5 cm de graviers ;
- 0,8 cm de revêtement d'étanchéité bicouche ;
- 12 cm de laine de roche ;
- 12 cm de laine de roche ;
- 14 cm de laine de roche ;
- pare-vapeur ;
- étanchéité primaire ;
- forme avec pente de 2° ;
- 20 cm de dalle ;
- 1,5 cm d'enduit intérieur.

Isolation inversée avec végétalisation

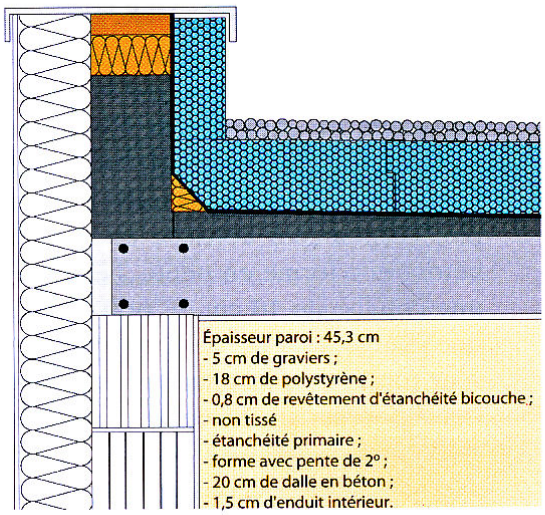
Up = 0,22 W/m²K **Rw ≥ 60 dB**



Épaisseur paroi : 60,8 cm
- 15 cm de substrat de végétalisation ;
- géotextile ;
- 5 cm de graviers (draiange) ;
- 18 cm de polystyrène ;
- 0,5 cm de film anti-racines ;
- 0,8 cm de revêtement d'étanchéité bicouche ;
- non tissé
- étanchéité primaire ;
- forme avec pente de 2° ;
- 20 cm de dalle en béton ;
- 1,5 cm d'enduit intérieur.

Isolation inversée sous protection lourde

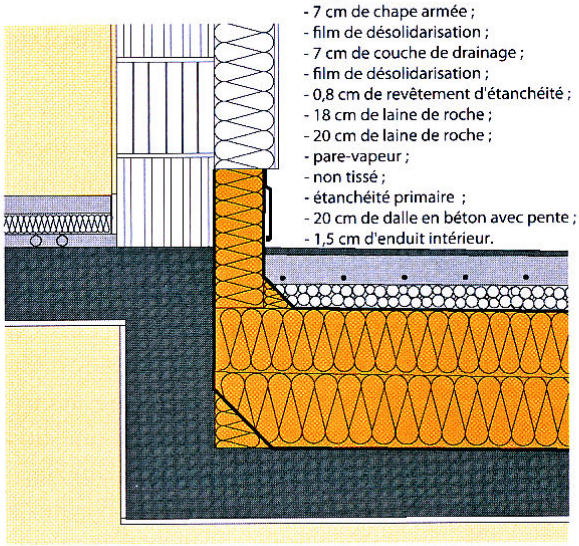
Up = 0,22 W/m²K **Rw ≥ 60 dB**



Épaisseur paroi : 45,3 cm
- 5 cm de graviers ;
- 18 cm de polystyrène ;
- 0,8 cm de revêtement d'étanchéité bicouche ;
- non tissé
- étanchéité primaire ;
- forme avec pente de 2° ;
- 20 cm de dalle en béton ;
- 1,5 cm d'enduit intérieur.

Toiture terrasse sur local chauffé

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 60 dB**



Épaisseur paroi : 75,3 cm
- 1,0 cm de revêtement extérieur ;
- colle
- 7 cm de chape armée ;
- film de désolidarisation ;
- 7 cm de couche de drainage ;
- film de désolidarisation ;
- 0,8 cm de revêtement d'étanchéité ;
- 18 cm de laine de roche ;
- 20 cm de laine de roche ;
- pare-vapeur ;
- non tissé ;
- étanchéité primaire ;
- 20 cm de dalle en béton avec pente ;
- 1,5 cm d'enduit intérieur.

Figure 187 : Exemples d'isolation thermo-acoustique d'une toiture-terrasse

étanchéité en deux couches et de 5 cm de graviers.
L'épaisseur totale du plancher est de 65,3 cm. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,10 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 60 dB.

Il est également possible de placer l'étanchéité sous l'isolant. C'est le principe de la toiture inversée. Naturellement, l'isolant doit être insensible à l'humidité, comme le polystyrène extrudé par exemple. Le plancher consiste en une dalle béton, une forme en pente, l'étanchéité, une couche de 18 cm de polystyrène et une charge de 5 cm de graviers. L'épaisseur totale du plancher est de 45,3 cm. On obtient un coefficient de transmission surfacique U de 0,22 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 60 dB. Cette solution est valable également dans le cas d'une toiture végétalisée. La couche de 5 cm de gravier de drainage sera alors recouverte d'un géotextile, puis de 15 cm de substrat de végétalisation.
Les performances thermo-acoustiques ne sont pas modifiées puisque l'isolant reste le même.

Si la terrasse est située sur un local chauffé, la solution d'isolation du premier exemple est applicable, avec de la laine de roche. On place un film de désolidarisation sur les graviers, puis on coule une chape armée de 7 cm. Un carrelage collé assurera la fonction de revêtement de sol. Pour la partie accessible de la terrasse, c'est encore une fois le principe de la chape flottante qui s'applique. En revanche, il faut bien veiller à ce que la dalle support soit calculée pour supporter la surcharge engendrée par le gravier et la chape. L'épaisseur totale du plancher atteint 75,3 cm. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,10 W/m².K et l'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 60 dB.

Les solutions pour les toitures inclinées

Pour les toitures inclinées, la meilleure solution est l'isolation en deux couches. La première trouve sa place entre les chevrons. La seconde est posée sous les chevrons ou réalisée par l'extérieur, pour gagner du volume dans les combles. Cependant dans l'existant, cela nécessite de déposer la toiture.

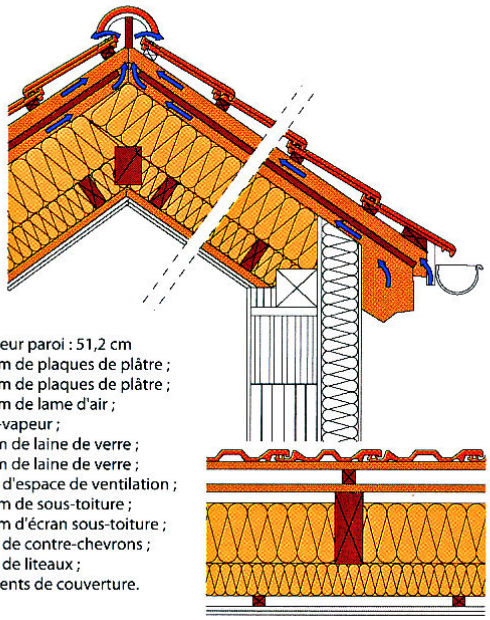
La solution traditionnelle consiste à réaliser un écran sous toiture, posé sur un platelage. Il faut pour cela ménager un vide d'air entre l'isolant et celui-ci. L'espace entre les chevrons ne doit pas être totalement rempli. Dans l'exemple de la figure 188, des panneaux de laine minérale de 20 cm d'épaisseur sont disposés entre les chevrons. Viennent ensuite la lame d'air, le platelage, l'écran sous toiture traditionnel, un contre-chevronnage (seconde lame d'air), puis les liteaux et enfin la couverture. Côté intérieur, un contre-chevronnage perpendiculaire aux chevrons permet d'installer la seconde couche de 10 cm de laine minérale. En lieu et place du contre-chevronnage, il est également possible de créer une ossature métallique. Le pare-vapeur trouve ensuite sa place. Les lisses sont clouées, ce qui crée une nouvelle lame d'air qui peut être mise à profit pour le passage des réseaux domestiques. La peau consistera en deux épaisseurs de plaques de plâtre. L'épaisseur totale de la toiture est de 51,2 cm. Le coefficient de transmission surfacique U obtenu est de

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (toitures inclinées)

Source Isover

Isolation entre chevrons avec ventilation

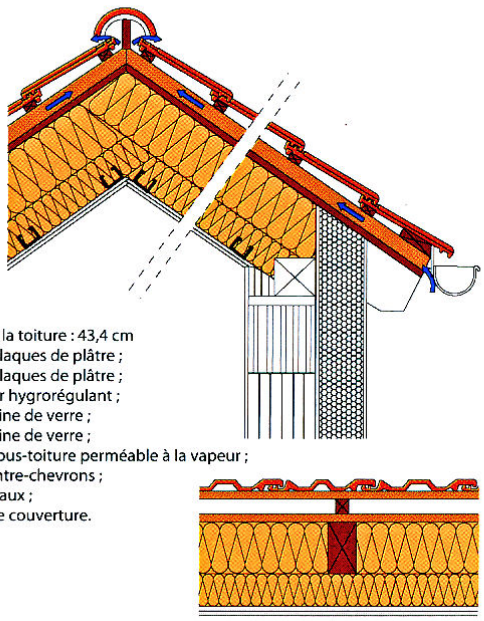
Up = 0,15 W/m²K **Rw ≥ 55dB**



Épaisseur paroi : 51,2 cm
- 1,5 cm de plaques de plâtre ;
- 1,5 cm de plaques de plâtre ;
- 3,5 cm de lame d'air ;
- pare-vapeur ;
- 10 cm de laine de verre ;
- 20 cm de laine de verre ;
- 4 cm d'espace de ventilation ;
- 2,4 cm de sous-toiture ;
- 0,3 cm d'écran sous-toiture ;
- 5 cm de contre-chevrons ;
- 3 cm de liteaux ;
- éléments de couverture.

Isolation sous voliges avec écran sous toiture perméable à la vapeur et ossature métallique

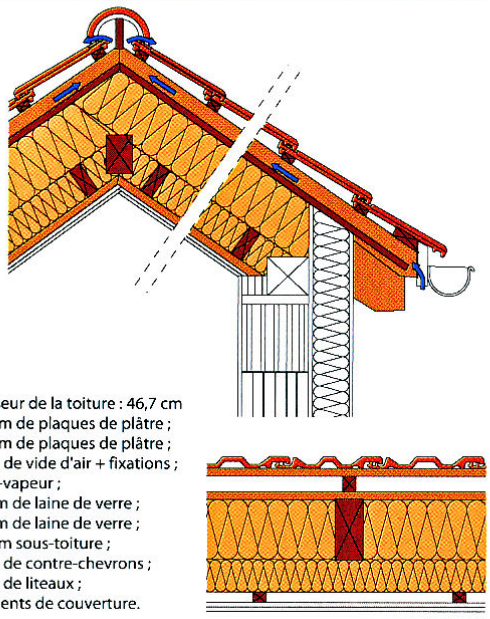
Up = 0,15 W/m²K **Rw ≥ 55 dB**



Épaisseur de la toiture : 43,4 cm
- 1,5 cm de plaques de plâtre ;
- 1,5 cm de plaques de plâtre ;
- pare-vapeur hygrorégulant ;
- 10 cm de laine de verre ;
- 20 cm de laine de verre ;
- 2,4 cm de sous-toiture perméable à la vapeur ;
- 5 cm de contre-chevrons ;
- 3 cm de liteaux ;
- éléments de couverture.

Isolation sous voliges avec écran sous toiture perméable à la vapeur

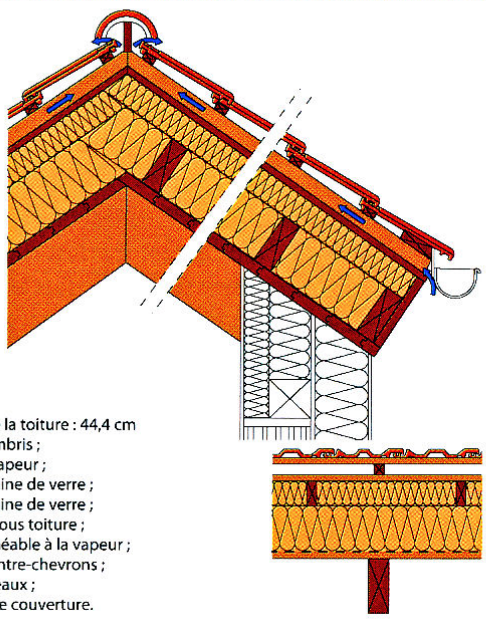
Up = 0,15 W/m²K **Rw ≥ 55 dB**



Épaisseur de la toiture : 46,7 cm
- 1,5 cm de plaques de plâtre ;
- 1,5 cm de plaques de plâtre ;
- 3 cm de vide d'air + fixations ;
- pare-vapeur ;
- 10 cm de laine de verre ;
- 20 cm de laine de verre ;
- 2,4 cm sous-toiture ;
- 5 cm de contre-chevrons ;
- 3 cm de liteaux ;
- éléments de couverture.

Isolation entre chevrons sur charpente bois

Up = 0,15 W/m²K **Rw ≥ 55 dB**



Épaisseur de la toiture : 44,4 cm
- 4 cm de lambris ;
- film pare-vapeur ;
- 20 cm de laine de verre ;
- 10 cm de laine de verre ;
- 2,4 cm de sous toiture ;
- écran perméable à la vapeur ;
- 5 cm de contre-chevrons ;
- 3 cm de liteaux ;
- éléments de couverture.

Figure 188 : Exemples d'isolation thermo-acoustique hautes performances d'une toiture inclinée

0,15 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 55 dB. Ces performances sont valables pour la laine de verre, cependant celle-ci peut être remplacée par un autre isolant aux performances similaires.
Ces performances sont dignes des niveaux requis pour atteindre la norme de construction passive. Cela implique également de réaliser une étanchéité à l'air particulièrement soignée.
Si l'écran sous toiture est perméable à la vapeur d'eau et le pare-vapeur hygrorégulant, il est alors possible de combler l'espace entre les chevrons, comme cela est illustré dans le second exemple de la figure. L'écran peut être une feuille mince ou à base de fibres de bois. Côté intérieur, l'ossature métallique permet la mise en œuvre de la seconde couche d'isolant.
L'épaisseur totale de la toiture est, par conséquent, légèrement diminuée, soit 43,4 cm. Les performances thermo-acoustiques restent identiques.
Dans le troisième exemple, le principe d'écran sous toiture et de pare-vapeur reste le même. Là encore, le remplissage de l'espace entre les chevrons est complet. Les performances obtenues atteignent un niveau comparable.
L'isolation haute performance de la charpente par le dessus est également possible, comme l'illustre le dernier exemple de la figure. Des lambris sont installés directement sur les fermes et recouverts d'un film pare-vapeur, puis de deux couches d'isolant avec contre-chevronnages. Ensuite, un écran sous toiture perméable à la vapeur d'eau accueille des contre-chevrons et des liteaux, qui eux-mêmes serviront de support aux éléments de couverture. Le niveau de performances est comparable à celui des solutions précédentes.
On constate que l'utilisation d'une épaisseur minimale de 30 cm de laine de verre et de deux plaques de plâtre permet d'obtenir d'excellentes performances tant du point de vue thermique qu'acoustique. En revanche, si vous souhaitez aussi améliorer l'inertie et le confort d'été, il convient de vous orienter vers un autre type d'isolant.

Les solutions pour les dalles de combles

L'option du plancher lourd pour le dernier niveau d'une maison est intéressant, car il permet de bénéficier d'une bonne inertie thermique et par conséquent d'un meilleur confort d'été (figure 189). Si les combles ne sont pas aménageables, il devient possible de mettre en œuvre une forte épaisseur d'isolant thermique pour parvenir à des performances exceptionnelles.

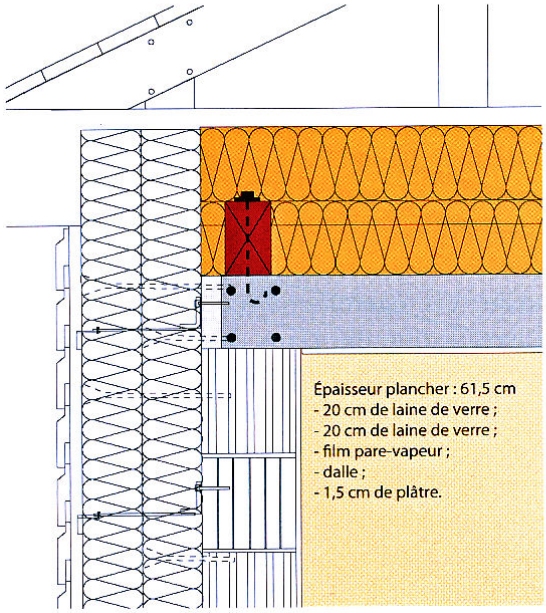
Grâce à la maçonnerie, l'étanchéité à l'air n'est plus un problème, cependant cela ne dispense pas de mettre en œuvre l'isolant avec soin, notamment pour ne pas créer de ponts thermiques.
Dans un souci d'assurer la parfaite continuité de l'isolation, tous les exemples présentés adoptent l'isolation par l'extérieur. De même, la panne sablière doit toujours être recouverte par l'isolant afin de ne pas créer de ponts thermiques. Il est essentiel de préserver la ventilation de la toiture.
Dans le cas d'une dalle en béton avec une charpente en fermettes reposant sur une panne sablière, la solution d'isolation haute performance classique est la suivante : la dalle est recouverte d'un film pare-vapeur, puis de deux couches de panneaux de laine minérale de 20 cm

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (dalle combles)

Source Isover

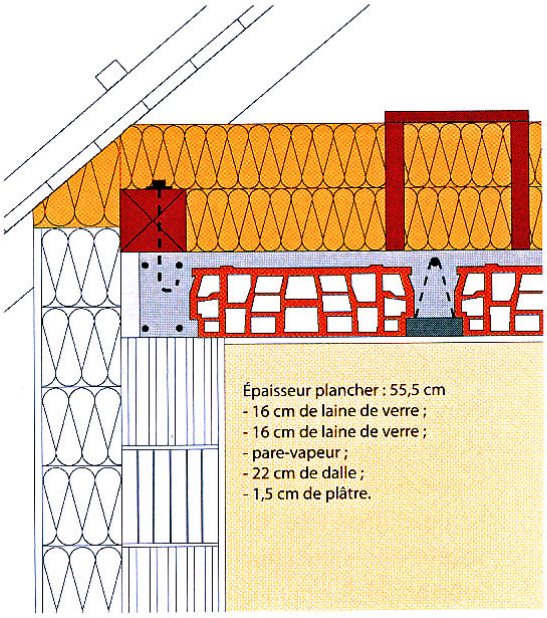
Combles avec fermettes

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 61 dB



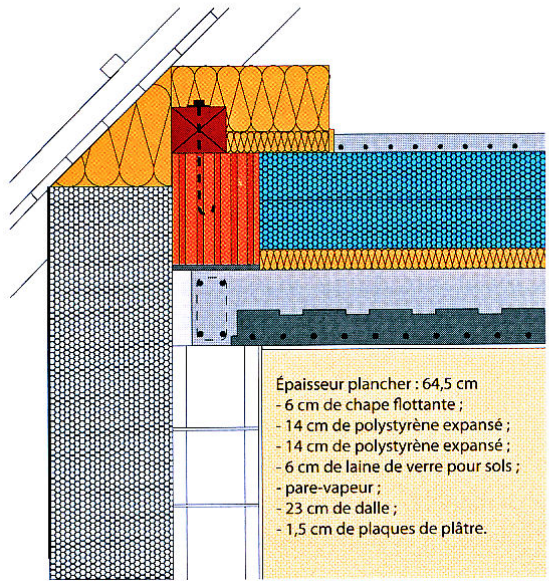
Combles avec passerelle de visite

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 53 dB



Combles avec chape flottante

Up = 0,10 W/m²K
Rw ≥ 66 dB ΔLw = 32 dB LnT,w = 38 dB



Combles avec possibilité de cheminement

Up = 0,15W/m²K
Rw ≥ 61 dB ΔLw = 24 dB LnT,w = 49 dB

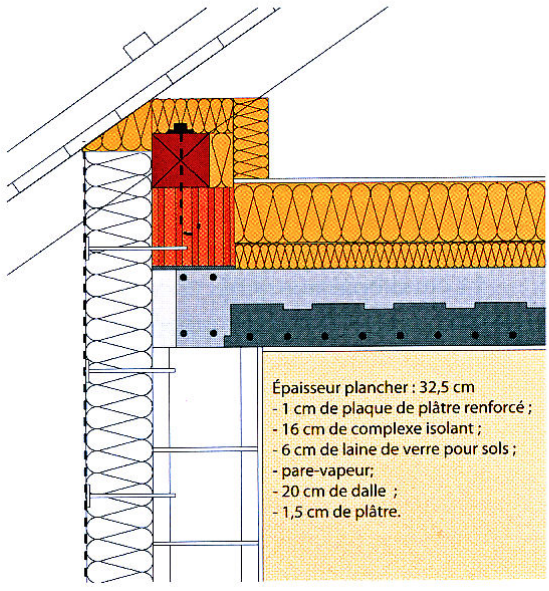


Figure 189 : Exemples d'isolation thermo-acoustique hautes performances d'une dalle de combles

d'épaisseur chacune et posées en coupe de pierre, à joints décalés. L'isolation doit englober la panne sablière et assurer la continuité avec les parois verticales, c'est-à-dire l'isolation sous bardage rapporté. L'épaisseur totale du plancher est de 61,5 cm. Le coefficient de transmission surfacique U du plancher est de 0,10 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 61 dB.

Avec une charpente traditionnelle, une solution analogue en deux couches est possible. Le plancher intégrant des hourdis en terre cuite, on peut diminuer légèrement l'épaisseur de l'isolant, soit deux couches de 16 cm de laine minérale. Il ne faut pas oublier de ménager une passerelle de circulation pour permettre l'inspection de la toiture. L'épaisseur totale de plancher pour cette solution atteint 55,5 cm. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,10 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 53 dB.

Si les combles sont destinés à demeurer inhabitables et à faire office de grenier, la réalisation d'une isolation haute performance est facilitée. La dalle reçoit un film pare-vapeur, puis une couche de 6 cm de panneaux de laine minérale pour le traitement acoustique. On pose ensuite deux couches de polystyrène expansé de 14 cm d'épaisseur chacune, puis on coule une chape flottante armée de 6 cm. Si les panneaux de polystyrène possèdent des bords droits, il faut coller du ruban adhésif sur les joints, afin d'éviter les coulures de laitances de ciment. Si les panneaux sont embrevés, cette précaution n'est pas nécessaire et la chape peut être coulée directement.
Comme toujours, il faut veiller à maintenir la continuité de l'isolation avec celle de l'extérieur grâce à des éléments de laine minérale.
L'épaisseur d'un tel plancher atteint 64,5 cm. Son indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 66 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w est de 32 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,w}$ de 38 dB. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,10 W/m².K.

Cette dernière solution, adaptée à des combles non aménageables sur dalle lourde, est également réalisable avec un isolant fibreux. Dans ce cas, la zone piétonnable est matérialisée par une ou deux plaques de plâtre renforcé. L'épaisseur totale du plancher sera moins importante, soit 32,5 cm, mais les performances demeureront excellentes. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w sera supérieur à 61 dB. La réduction du niveau des bruits de chocs ΔL_w sera de 24 dB et le niveau de pression aux bruits de chocs $L'_{nT,w}$ de 49 dB. Le coefficient de transmission surfacique U atteindra 0,15 W/m².K.

Les solutions pour maisons à ossature bois

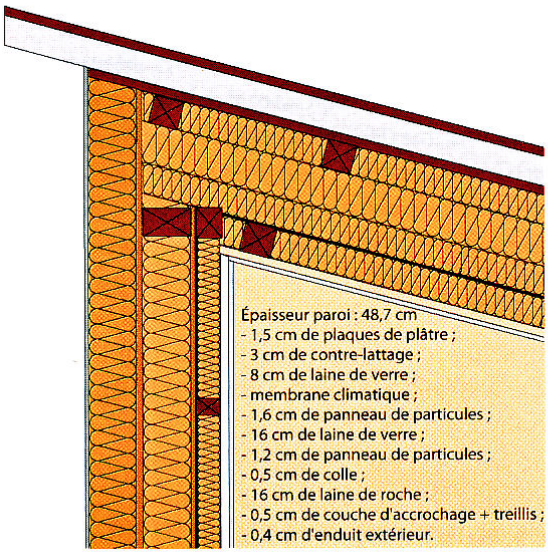
Même pour des niveaux d'isolation standard, placer un simplement isolant entre les montants d'une maison à ossature bois ne suffit pas. Les performances sont insuffisantes et les ponts thermiques ponctuels trop nombreux. Les exemples qui suivent (figure 190) ont pour but de montrer qu'en ajoutant un isolant supplémentaire côté intérieur et un autre côté extérieur, il est possible d'obtenir des performances exceptionnelles. Du bon choix de l'isolant dépend également la qualité de l'inertie thermique.

Exemples d'isolation thermo-acoustique très hautes performances (murs MOB)

Source Isover

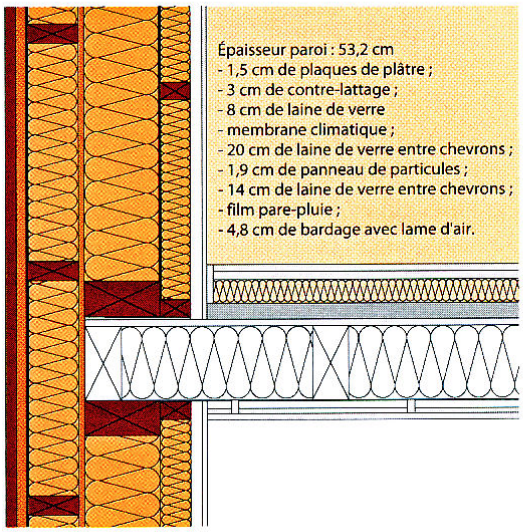
Solution avec enduit extérieur

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 50 dB**



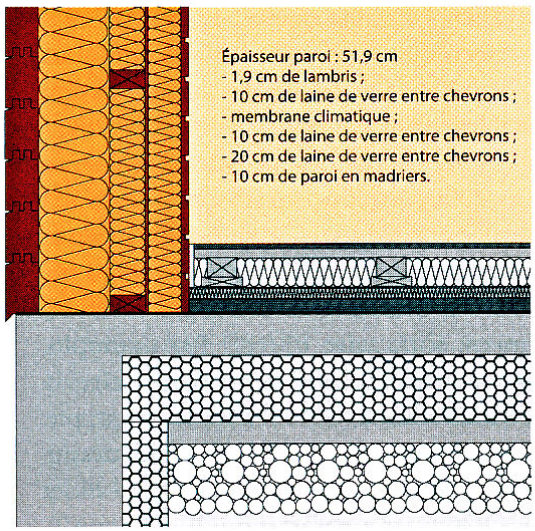
Solution avec bardage

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 45 dB**



Solution pour construction en madriers

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 45 dB**



Solution avec bardage rapporté

Up = 0,10 W/m²K **Rw ≥ 45 dB**

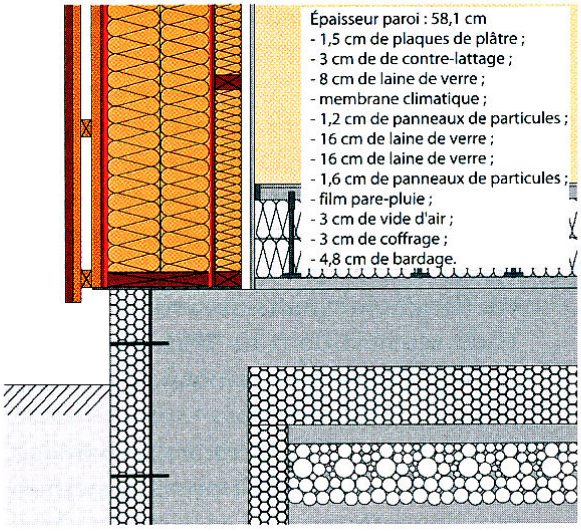


Figure 190 : Exemples d'isolation thermo-acoustique hautes performances d'une maison à ossature bois

La première solution haute performance offre la possibilité de réaliser une finition extérieure avec un enduit. Celui-ci, renforcé par un treillis d'armature, est appliqué sur 16 cm de laine de roche. L'isolant est collé sur le contreventement qui est composé de panneaux de particules de 1,2 cm d'épaisseur. L'espace entre les montants est comblé avec un isolant de 16 cm d'épaisseur. Une seconde plaque de panneaux de particules est fixée côté intérieur, ainsi qu'une membrane freine-vapeur, puis une couche de 8 cm de laine minérale, un contre-lattage et enfin une plaque de plâtre. La continuité de l'isolation du mur avec celle du toit doit être préservée. L'épaisseur totale du mur pour cette solution est de 48,7 cm. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,10 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 50 dB.

Dans le cas d'une finition extérieure en bardage bois, une solution d'isolation haute performance consiste à réaliser le bardage bois sur un contre-chevronnage incorporant de la laine minérale. La laine est protégée par un film pare-pluie. Un voile de contreventement en panneaux de particules de 1,9 cm est posé, puis une couche de 20 cm de laine minérale entre les chevrons, un freine-vapeur, un contre-lattage comprenant 8 cm de laine minérale, puis une peau intérieure en plaques de plâtre. L'épaisseur totale de cette solution est de 53,2 cm. Le coefficient de transmission surfacique U du mur est de 0,10 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 45 dB.

Avec une finition extérieure en bardage, une autre solution est possible permettant d'incorporer une épaisseur de laine minérale plus importante, 32 cm, entre les montants. Il suffit d'ajouter une couche d'isolant supplémentaire du côté intérieur de la paroi. Cette solution présente les mêmes caractéristiques thermo-acoustiques que la solution précédente. Dans le cas d'une paroi mixte, avec des madriers empilés de 10 cm d'épaisseur, une solution consiste à mettre en œuvre une ossature intégrant une couche de 20 cm de laine minérale et un contre-chevronnage incorporant également une épaisseur de 10 cm d'isolant. Enfin, un dernier contre-chevronnage accueille une autre épaisseur de 10 cm d'isolant. Il fait office de support à un lambrissage. L'épaisseur totale de cette solution est de 51,9 cm. Le coefficient de transmission surfacique U est de 0,10 W/m².K. L'indice d'affaiblissement acoustique R_w est supérieur à 45 dB.

Les solutions avec des PIV

Comme le montrent les paragraphes précédents, il est tout à fait possible d'atteindre des hautes performances thermiques avec les isolants conventionnels. Le principal problème est qu'elles ne sont possibles qu'en ayant recours à de fortes épaisseurs. Parfois les contraintes induites par une telle augmentation sont trop pénalisantes, en termes d'habitabilité ou de législation. Dans une démarche de construction classique, la surface consacrée à la surisolation n'est pas prise en compte pour le cacul de la SHON, puisque le calcul lié à l'isolation est forfaitaire (5 %) ! Par exemple, l'autoconstructeur qui souhaite faire la démarche de surisoler sa maison est, par conséquent, pénalisé et non encouragé. Il faut faire la demande d'un label et passer par un professionnel.

La solution viendra certainement des nouveaux produits isolants et de la recherche

et développement dans ce domaine. Des solutions techniques existent déjà, notamment en Europe du Nord, avec des performances étonnantes et prometteuses grâce aux panneaux isolants sous vide. Par nature, ces matériaux ne sont pas strictement écologiques, cependant leurs performances leur confèrent un excellent bilan énergétique.
On peut opter pour les PIV pour isoler les sols, notamment sous une chape flottante. En revanche, il faut savoir que leurs performances acoustiques sont mauvaises. C'est pourquoi il convient, pour cette application, de les associer avec des sous-couches acoustiques minces afin de stopper la transmission des bruits d'impact.

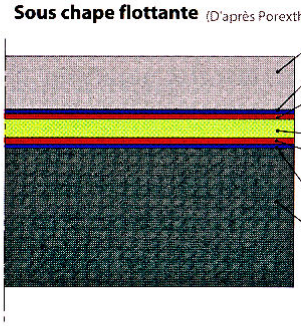
Avec une épaisseur de PIV de 15 mm seulement, on obtient un plancher au coefficient de transmission surfacique U de 0,30 W/m².K. La dalle doit être équipée d'une sous-couche d'étanchéité de 3 mm, d'une sous-couche acoustique mince de 5 mm, puis des panneaux PIV de 15 mm. Une seconde sous-couche acoustique de 5 mm est nécessaire, avec un film polyéthylène de 0,5 mm avant une chape flottante de 4 cm. Pour obtenir des résultats comparables avec du polystyrène extrudé, il faudrait une épaisseur de 9 ou 10 cm.
En rénovation d'un sol irrégulier, une autre solution a été testée. Une forme de sable de 5 mm d'épaisseur est réalisée sur la dalle et recouverte d'un film d'étanchéité de 0,5 mm. Une couche de granules de perlite est étendue pour rattraper les défauts de niveau. Des panneaux d'aggloméré de 8 mm sont posés pour servir de support à des PIV de 2 cm d'épaisseur, eux-mêmes protégés par une couche de 20 mm de panneaux de polystyrène. Le sol est réalisé au moyen de panneaux OSB de 15 mm. Pour une épaisseur sur dalle légèrement supérieure à 8 cm, on obtient avec cette solution, un coefficient de transmission surfacique U du plancher de 0,17 W/m².K, soit une performance hors norme.
Pour les parois verticales, les valeurs obtenues sont tout aussi étonnantes. Les PIV sont là aussi souvent associés à du polystyrène. Il ne s'agit pas d'augmenter encore leurs performances, mais plutôt d'assurer leur protection mécanique.
Des essais d'isolation par l'extérieur ont été menés avec les PIV. La première solution repose sur un pare-vapeur fixé à la paroi, accompagné de panneaux PIV de 15 mm d'épaisseur. Ils sont supportés par des rails en PVC, les mêmes utilisés classiquement pour les panneaux d'isolation extérieure en polystyrène. Une couche de protection en polystyrène prend appui sur ces mêmes profilés et sert de support à un enduit avec armature. Avec une épaisseur rapportée totale de 56 mm, on obtient un coefficient de transmission surfacique U pour le mur de 0,19 W/m².K.
Une autre solution applicable aux murs consiste à coller directement des PIV pris en sandwich entre deux couches de polystyrène (figure 192). Une nouvelle couche isolante, et composée également de panneaux de polystyrène, est fixée par dessus. Un enduit avec armature est appliqué en finition. Pour une épaisseur d'isolation rapportée légèrement supérieure à 15 cm, on obtient, au niveau des joints entre PIV, un coefficient de transmission surfacique U de 0,26 W/m².K. Dans les zones pleines des PIV, ce coefficient est de 0,14 W/m².K. La moyenne de U pour le mur est de 0,149 W/m².K, seulement.
Les PIV sont indiqués également pour renforcer avantageusement l'isolation

Exemple de performances avec des PIV

Réalisations en Suisse et en Allemagne

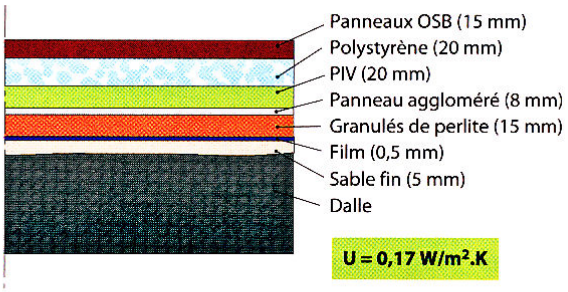
Isolation des sols

Sous chape flottante (D'après Porextherm)



U = 0,30 W/m².K

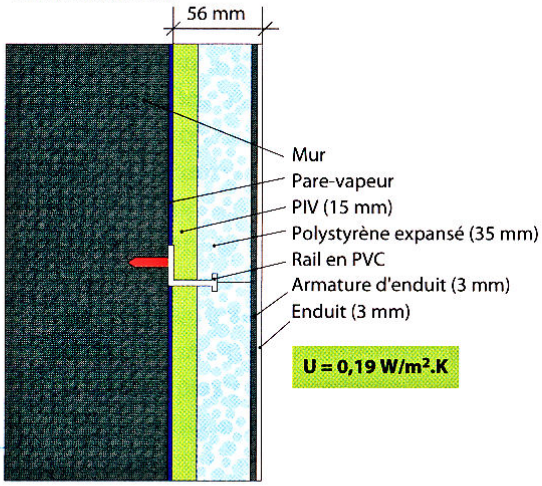
Sols irréguliers



U = 0,17 W/m².K

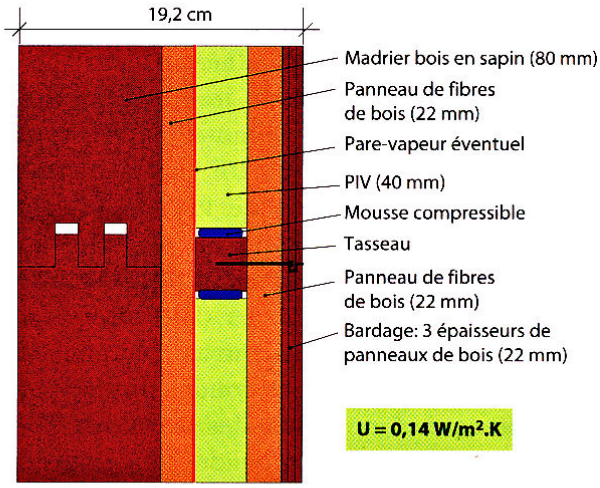
Isolation des murs par l'extérieur

Panneaux sur rails



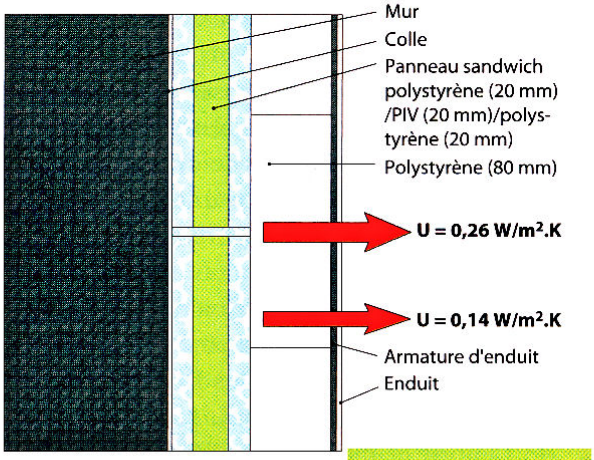
U = 0,19 W/m².K

Isolation d'une maison bois en madriers



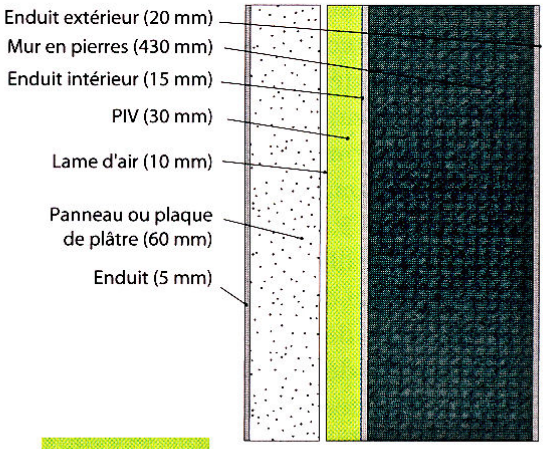
U = 0,14 W/m².K

Complexes collés



U moyen = 0,147 W/m².K

Isolation des murs par l'intérieur



U = 0,22 W/m².K

Figure 191 : Exemples d'isolation thermique hautes performances avec les PIV

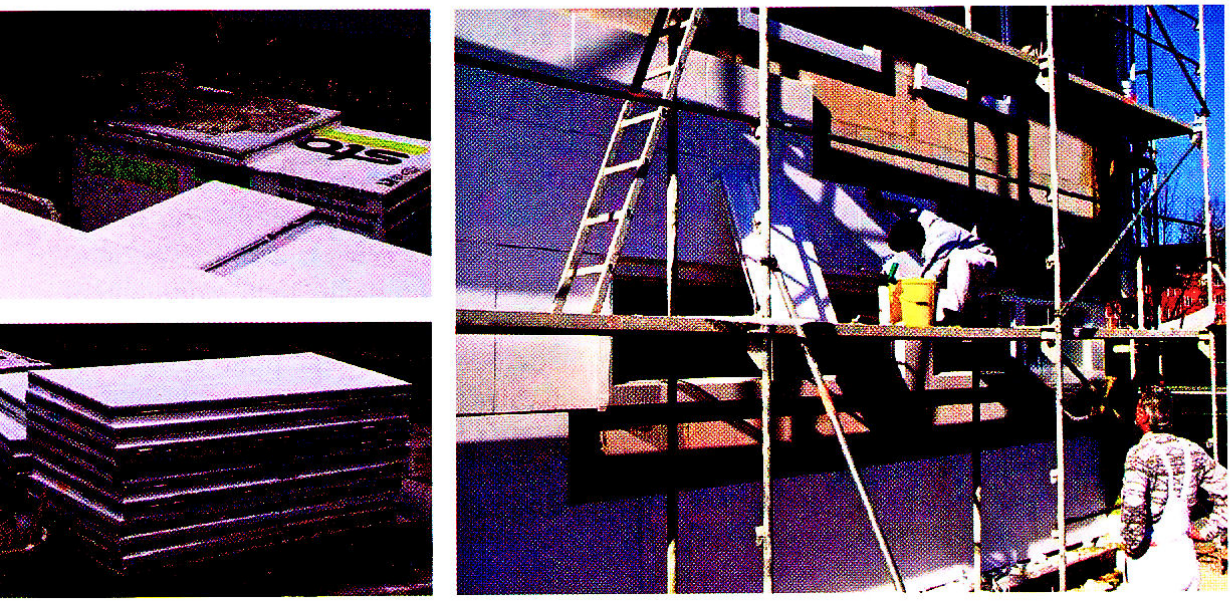


Figure 192 : Exemple d'habillage d'une façade avec des PIV

des maisons en bois, notamment en bois massif, comme présenté dans l'exemple de la figure 191. Une structure porteuse en madriers de sapin de 80 mm est recouverte de panneaux de fibres de bois, puis d'un film pare-vapeur. Un lattage en bois permet d'insérer des PIV de 40 mm. Les joints au niveau de l'ossature en bois sont calfeutrés au moyen de mousse compressible. Le tout est recouvert d'une seconde couche de panneaux de fibres de bois de 22 mm d'épaisseur, puis d'un bardage en panneaux de bois 3 plis de 22 mm. Avec une épaisseur totale pour la paroi de 19,2 cm, on obtient un coefficient de transmission surfacique U de 0,14 W/m².K. Néanmoins, il est à noter que des ponts thermiques linéaires subsisteront au niveau de l'ossature bois supportant les PIV. Ils sont cependant limités par la seconde couche de panneaux de fibres de bois.

D'autres expériences ont été menées pour montrer que les PIV sont utilisables aussi en isolation par l'intérieur. Le principal problème est alors la nécessité de les protéger de façon efficace contre tout risque de détérioration, notamment contre les percements inopinés. L'unique moyen de se prémunir contre ce type de risque consiste à monter une contre-cloison suffisamment épaisse.

En rénovation, sur un mur ancien en pierres de 43 cm avec enduits intérieur et extérieur, des PIV de 30 mm sont mis en œuvre, comme dans l'exemple de la figure 191. Les panneaux sont protégés par une contre-cloison ou des carreaux de plâtre de 60 mm recouverts d'un enduit. Une lame d'air inerte de 10 mm a été ménagée entre les PIV et le plâtre. La fonction de pare-vapeur est assurée par les PIV. Une telle configuration, d'une épaisseur légèrement supérieure à 10 cm, permet d'obtenir un coefficient de transmission surfacique U de 0,22 W/m².K. À titre de comparaison, rappelons qu'une contre-cloison en briques sur un mur en parpaings isolé avec 100 mm de laine de

verre offre un coefficient de transmission surfacique U de 0,27 W/m².K, mais avec une épaisseur totale supérieure à 18 cm ! Avec une laine minérale, on obtiendrait des performances similaires à partir de 16 cm d'épaisseur.

La ventilation

Ventiler son logement, pour beaucoup, est synonyme d'entrée d'air froid, donc de perte inutile de chaleur et de surconsommation d'énergie. Cela peut aussi paraître paradoxal avec la nécessité de garantir l'étanchéité à l'air pour obtenir une bonne isolation, comme nous l'avons vu dans la première partie. Cependant, rappelons que les performances thermiques et le confort de l'habitat sont un tout cohérent, où chaque paramètre compte, comme c'est le cas pour la ventilation.
Il est important de ne pas faire la confusion entre étanchéité à l'air et étanchéité à la vapeur d'eau, qui sont deux phénomènes distincts. Si l'air traverse une paroi, il crée des ponts thermiques et phoniques, ce que l'on ne souhaite pas dans un contexte d'isolation. Pour ce qui est de la vapeur d'eau, le problème est différent puisque l'on a intérêt à ne pas la stocker à l'intérieur de l'habitation. Cela est important surtout dans le cas d'une isolation par l'intérieur qui nécessite généralement la pose de pare-vapeur.

Pour parvenir à des niveaux corrects, la vapeur d'eau doit être évacuée mécaniquement. Les pare-vapeur hygrorégulants sont plus efficaces en laissant transiter une partie de la vapeur d'eau à travers les parois, toutefois ils n'empêchent pas la nécessité d'évacuer rapidement les surplus. Le terme de maison « respirante » indique que la paroi n'est pas totalement étanche à la vapeur d'eau et permet la régulation naturelle mais non maîtrisable. Cela ne veut pas dire qu'elle doit laisser la voie libre à tous les courants d'air.
Il est donc indispensable de ventiler l'habitation, pour plusieurs raisons. Si l'étanchéité à l'air est grande, l'air intérieur se renouvelle peu, uniquement lors de l'ouverture des fenêtres. Cela est nettement insuffisant pour assurer un niveau correct de confort et d'hygiène. En effet, le simple fait de respirer crée de la vapeur d'eau (entre 1 et 5 litres par personne et par jour selon l'activité), tout comme le fait de prendre un bain, une douche ou de faire la cuisine. Il faudrait un temps excessivement long pour que les surplus de vapeur d'eau s'évacuent naturellement à travers les parois. Sans leur élimination rapide, le risque est grand de voir apparaître des dégradations et une augmentation de la pollution de l'air intérieur avec les désagréments qui vont de paire (moisissures, micro-organismes, acariens...). Il en est de même pour les odeurs (cuisine, toilettes) et pour les autres émanations polluantes dues aux divers produits chimiques, COV, colles... qui entrent dans la composition de bon nombre d'objets et matériaux de la vie quotidienne (meubles, produits ménagers, revêtements de sol...). Cette pollution doit aussi être évacuée, car son accumulation dans l'air ambiant peut nuire à la santé.

La méthode ancienne qui consiste à ouvrir les fenêtres quelques minutes chaque jour pour renouveler l'air est insuffisante. En outre, on ne l'utilise pratiquement jamais aux moments les plus polluants : par exemple, il est rare d'ouvrir en grand la fenêtre de la salle de bains pendant la toilette, surtout en hiver. De plus, cela revient à créer une

perte brutale d'énergie en hiver et de fraîcheur en été. Enfin, ouvrir la fenêtre est peu utile s'il n'y a pas un courant qui seul peu évacuer l'air vicié.
Bien sûr, il existe la ventilation naturelle : l'air est évacué par tirage naturel. L'inconvénient de cette solution est que la circulation de l'air n'est pas maîtrisable et dépend des conditions climatiques. Elle est très souvent peu satisfaisante.
La ventilation artificielle mécanique reste la solution la plus adaptée. Plusieurs systèmes sont possibles, avec des performances et des prix variés.

Les systèmes de ventilation

Le but de la ventilation mécanique est de renouveler l'air intérieur. La méthode classique consiste à créer des entrées d'air dans les pièces principales (salon, chambres), une aspiration dans les pièces de service (cuisine, salle de bains, WC), puis à le rejeter à l'extérieur. Le ou les appareils d'aspiration créent une dépression à l'intérieur des locaux, ce qui entraîne automatiquement un appel d'air par les bouches d'entrée. Celles-ci doivent être situées en hauteur, généralement dans la partie haute des fenêtres, pour que tout le volume des pièces soit concerné, de haut en bas. La circulation de l'air s'opère à travers ces pièces, puis passe sous les portes des locaux à ventiler et termine dans un aérateur mécanique ou une bouche d'aspiration. Situé également en partie haute, l'aérateur extrait l'air vers l'extérieur par le biais d'un conduit existant comme celui d'une cheminée ou par un conduit créé à cet effet. L'aération peut avoir lieu ponctuellement, grâce à des appareils indépendants installés dans les pièces de service, ou être assurée de façon permanente par une VMR (ventilation mécanique répartie) ou une VMC (ventilation mécanique contrôlée).

La **ventilation mécanique ponctuelle** consiste à installer des appareils dans les pièces de service où cela est nécessaire. Le fonctionnement de chaque appareil est indépendant de celui des autres et a lieu uniquement lorsque le local est utilisé. Pour rendre leur utilisation plus pratique, il est possible et courant de combiner la mise en marche de l'appareil avec l'éclairage ou mieux, d'utiliser un appareil temporisé. Celui-ci continue de fonctionner automatiquement quelques minutes encore après l'utilisation de la pièce. Sur le même principe, les aérateurs peuvent être équipés d'un détecteur de présence. Pendant les périodes d'inoccupation, l'aération se fait sur le principe naturel. Pour obtenir un renouvellement suffisant, le débit de l'appareil doit être adapté au volume et au type de local à assainir.
Lorsque l'évacuation de l'air vicié s'effectue par un conduit de cheminée, la longueur de celui-ci doit être prise en compte, car, en effet, il se produit une résistance à l'extraction à cause des pertes de charge. Ainsi, pour un conduit d'une dizaine de mètres, la perte peut atteindre 20 % par rapport à une extraction directe. Il est important de tenir compte de ces pertes pour estimer la puissance nécessaire avant de choisir un appareil. Dans ce cas, on utilise généralement des appareils non pas à hélice, mais à turbine. Si l'extraction est directe, par exemple à travers une vitre ou à travers un mur, les appareils à hélice classiques suffisent.

La **ventilation mécanique répartie** consiste à installer des extracteurs, comme dans le cas de la ventilation

ponctuelle et des entrées d'air dans les pièces sèches. Les extracteurs sont répartis dans la salle de bains, les WC et la cuisine. Ils sont généralement installés en traversée de mur ou de fenêtre. À la différence des extracteurs ponctuels, ils fonctionnent en permanence. Certains modèles sont hygroréglables, c'est-à-dire qu'ils adaptent leur débit en fonction du taux d'humidité relative de l'air. Cette solution est valable en rénovation uniquement, lorsqu'il s'agit d'améliorer quelque peu la ventilation naturelle.

Parmi les **ventilations mécaniques contrôlées** (VMC), on distingue deux systèmes, les simples flux et les doubles flux. Dans une installation de VMC simple flux (figure 193), le principe des entrées d'air est similaire à celui de la ventilation ponctuelle, c'est-à-dire par les pièces principales. L'extraction s'effectue aussi par les pièces de service, de façon permanente et conjointe. Toutefois, l'extraction n'est plus répartie entre divers appareils mais centralisée dans un caisson d'aspiration, généralement placé dans les combles, loin des chambres à coucher. Le caisson est le point d'arrivée des gaines d'aspiration, de différents diamètres, partant des pièces de service. Une gaine plus large que les autres relie le caisson à une sortie sur le toit, pour l'extraction. Ces appareils possèdent un commutateur de puissance que l'on place généralement dans le tableau de protection électrique et qui permet de sélectionner temporairement le débit d'aspiration maximal.

Certains modèles autoréglables adaptent leur puissance automatiquement pour assurer un débit d'air constant quelles que soient les conditions intérieures ou atmosphériques. D'autres sont hygroréglables, c'est-à-dire qu'ils peuvent adapter leur débit en cas de pointe d'humidité dans la maison.
Pour un fonctionnement optimal du système, il est nécessaire que les entrées d'air soient sensiblement égales au débit d'extraction. Pour respecter la réglementation thermique, il est préférable de choisir une VMC hygroréglable certifiée CSTBat ou CSTB certified.

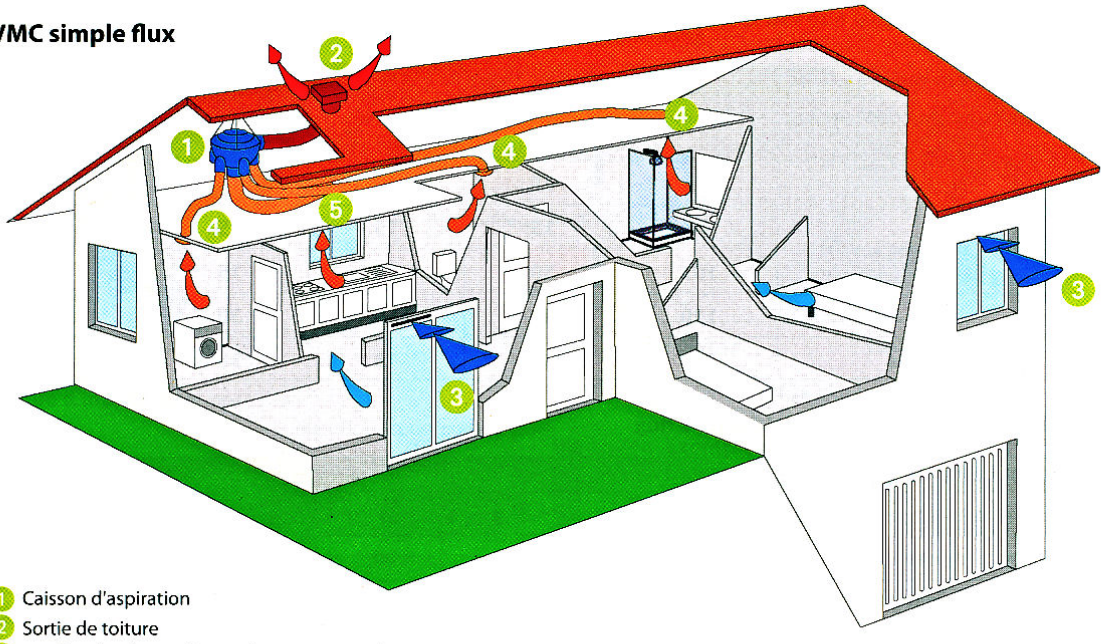
L'inconvénient majeur de tous ces systèmes mécaniques est que l'on aspire directement de l'air extérieur et, par conséquent, on fait rentrer du froid en hiver et de la chaleur en été. On rejette l'énergie de l'air chaud en hiver et on gaspille l'air intérieur plus frais en été. De plus en zone urbaine, on aspire la pollution lorsque la météo n'est pas favorable. Dans les zones bruyantes, les entrées d'air, si elles ne sont pas pourvues de systèmes acoustiques, créent des ponts phoniques qui peuvent être gênants.

Néanmoins, les déperditions restent acceptables par rapport aux avantages qu'apporte la ventilation. Une absence de ventilation engendrerait des désagréments encore plus importants. Les nuits d'été, la VMC aspire l'air frais de l'extérieur et rafraîchit l'habitation. La maison respire au sens propre, ce qui ne peut être que bénéfique.
Le meilleur compromis avec ce type d'appareil reste la VMC hygroréglable qui réduit les déperditions en adaptant son débit. En France, la réglementation prévoit des seuils minimaux de renouvellement de l'air (figure 194).

Pour éviter les inconvénients des systèmes à simple flux, on peut s'orienter vers les VMC double flux (figures 193). Elles sont conçues pour limiter les pertes

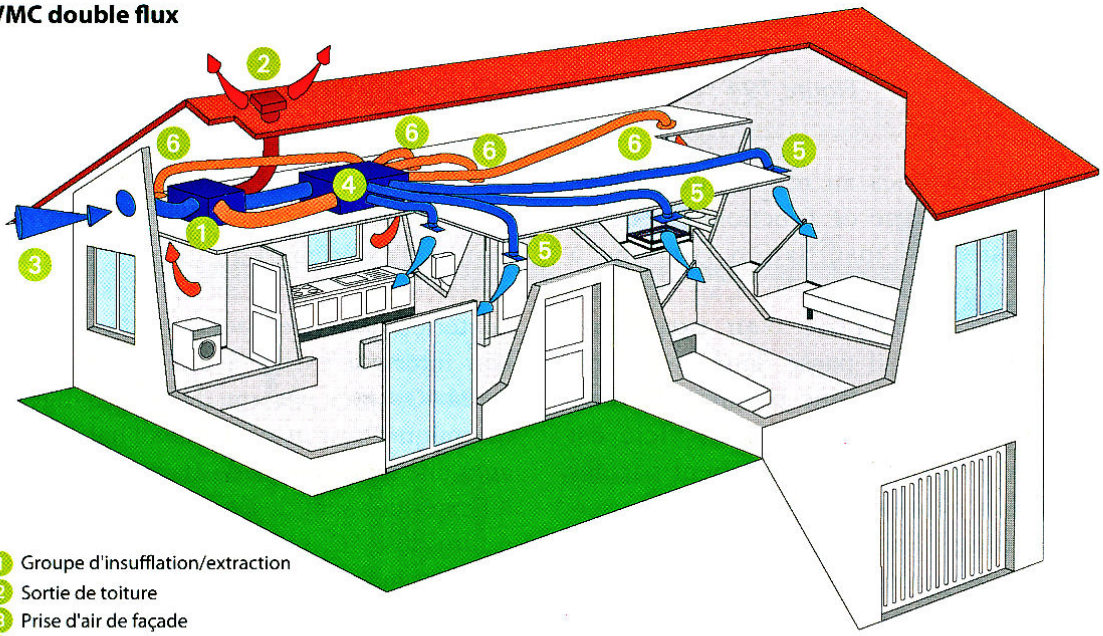
Les systèmes de VMC

VMC simple flux



1. Caisson d'aspiration
2. Sortie de toiture
3. Entrées d'air (partie haute des menuiseries)
4. Bouches d'aspiration sanitaires ø 80 mm
5. Bouche d'aspiration cuisine ø 125 mm

VMC double flux



1. Groupe d'insufflation/extraction
2. Sortie de toiture
3. Prise d'air de façade
4. Échangeur thermique
5. Bouches d'insufflation
6. Bouches d'extraction

Le groupe d'insufflation/extraction et l'échangeur thermique peuvent être réunis dans le même appareil.
La prise d'air en façade peut être remplacée par un puits canadien.

Figure 193 : Les systèmes de VMC

Débits réglementaires des systèmes de ventilation

Débits minimaux quel que soit le système de ventilation
(la ventilation doit être générale et permanente)

Débits d'air extrait en m³/h					
Nombre de pièces principales	Cuisine	Salle de bains	Autre salle d'eau	WC unique	WC multiples
1	75	15	15	15	15
2	90	15	15	15	15
3	105	30	15	15	15
4	120	30	15	30	15
5 et plus	135	30	15	30	15

Débits minimaux pour une VMC simple flux

Débits d'air en m³/h							
Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal	35	60	75	90	105	120	135
Débit minimal en cuisine	20	30	45	45	45	45	45

Débits minimaux pour une VMC hygroréglable

Débits d'air en m³/h							
Nombre de pièces principales	1	2	3	4	5	6	7
Débit total minimal	10	10	15	20	25	30	35

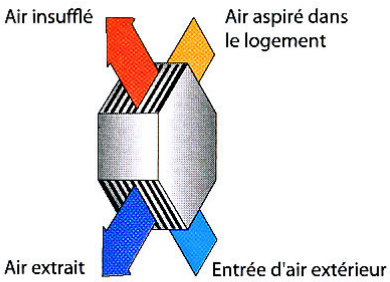
Figure 194 : Les débits de ventilation réglementaires

de chaleur dues au renouvellement de l'air. Le principe de fonctionnement est un système d'insufflation combiné à un système d'extraction. L'air neuf est aspiré par une prise d'air extérieure. Après filtrage, il passe dans un échangeur thermique, puis est insufflé dans les pièces principales. L'air vicié est toujours extrait mécaniquement par des bouches situées dans les pièces de service, dirigé dans l'échangeur thermique, puis évacué vers l'extérieur. L'air extrait de l'intérieur et l'air neuf de l'extérieur transitent dans un échangeur thermique à plaques (figure 195). À aucun moment les deux courants ne se mélangent, en revanche ils échangent leur calories. Cela est très intéressant en période hivernale, puisque l'air chaud extrait de l'habitation transmet ses calories à l'air froid provenant de l'extérieur. L'air insufflé dans les pièces est donc préchauffé. Ainsi, si l'air l'extérieur a une température de - 3 °C et l'air intérieur extrait a une température de 21 °C, après passage dans l'échangeur thermique, l'air insufflé dans l'habitation aura une température de 16 °C. L'air rejeté à l'extérieur sera descendu à une température de 8 °C. Le principe est le même en été, mais inversé. En cas de fortes chaleurs, avant d'insuffler de l'air chaud dans l'habitation, on récupère la fraîcheur intérieure grâce à l'échangeur.

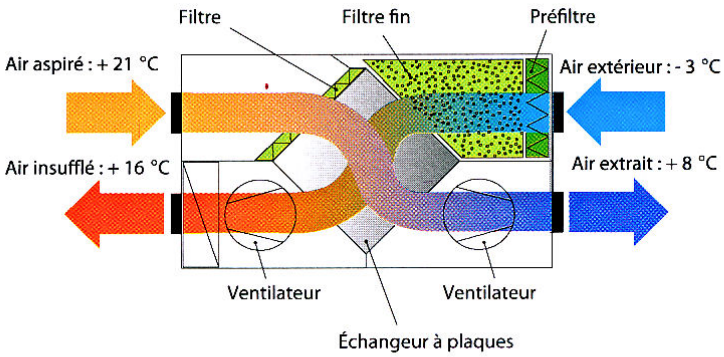
En saison tempérée, l'échangeur n'a pas d'utilité puisque les températures

La VMC double flux à échangeur thermique

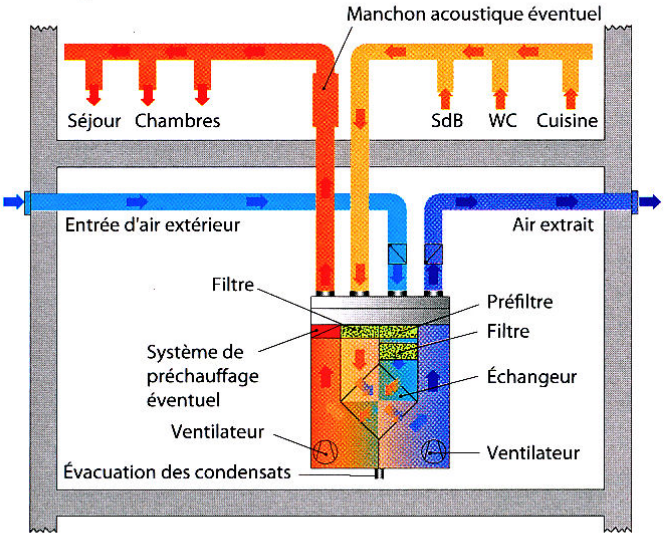
Principe d'un échangeur à plaques



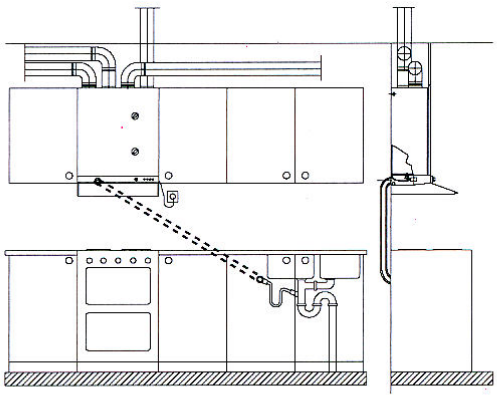
Exemple dans une centrale VMC (Source Helios)



Principe d'installation (D'après Helios)



Exemple de centrale compacte intégrant une hotte aspirante (Source : Vallox)



Exemple d'installation en maison individuelle (Source Helios)

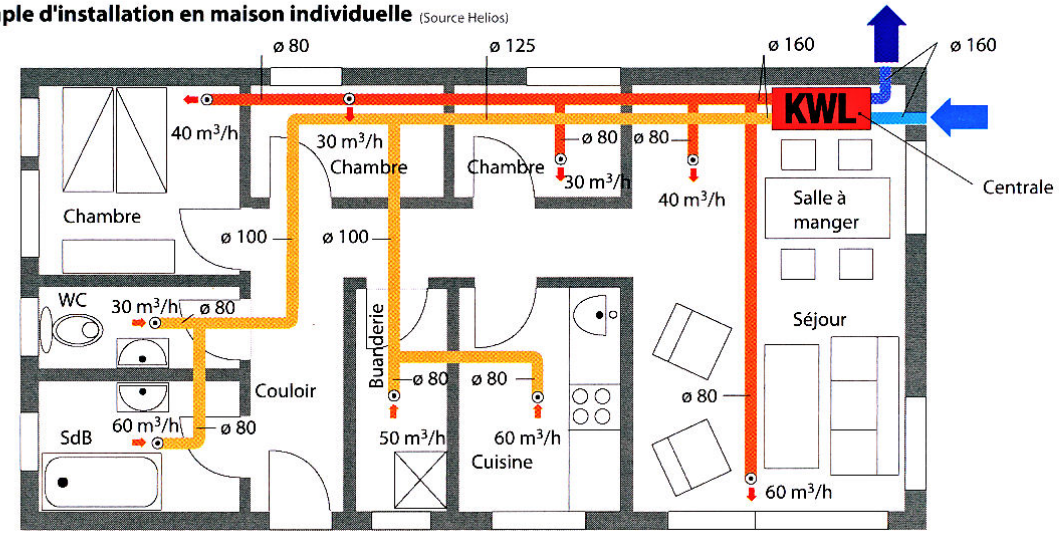
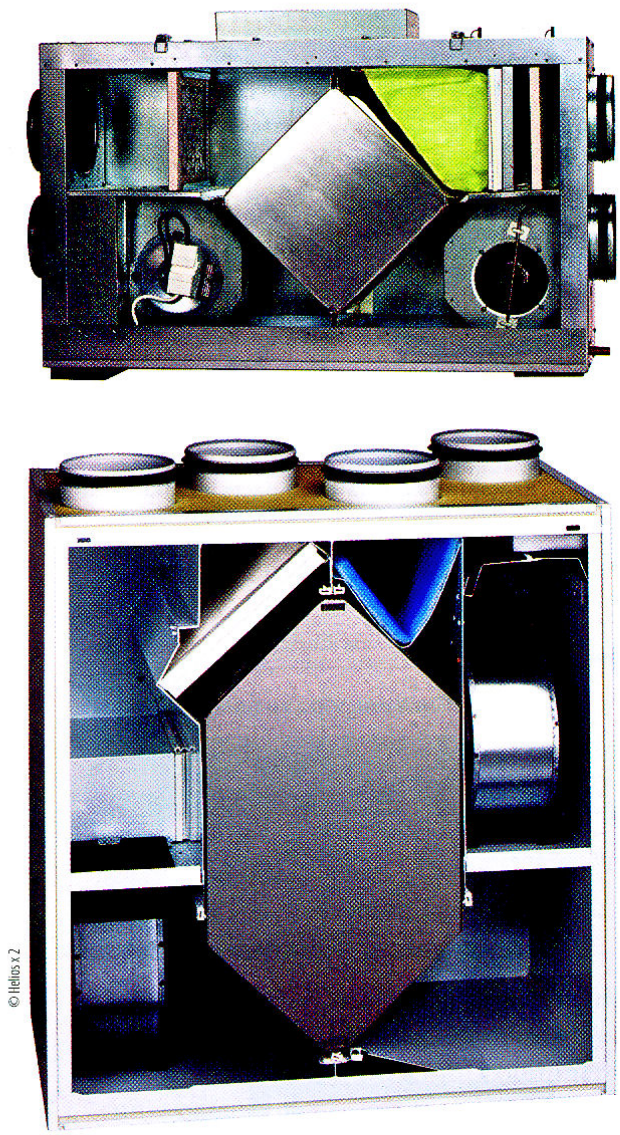


Figure 195 : Le principe de fonctionnement des VMC double flux



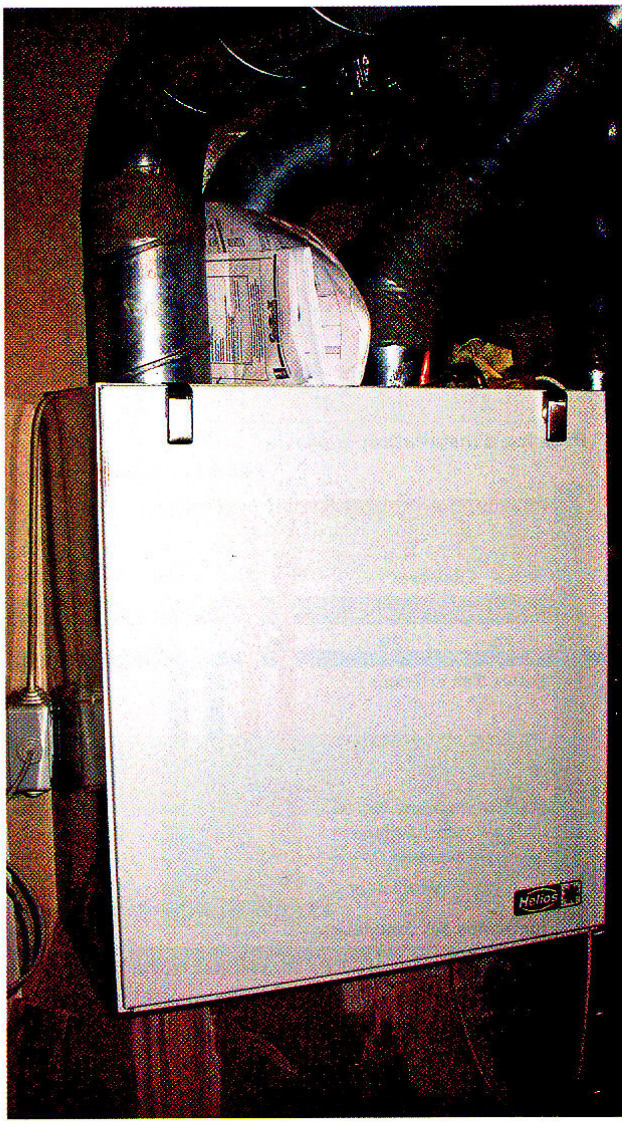


Figure 196 : Exemples de modèles de VMC double flux

sont équilibrées mais cela n'a pas de conséquence sur le fonctionnement du système.
En hiver, on comprend tout l'intérêt par rapport à une VMC simple flux, qui, en reprenant le même exemple, aspirerait directement de l'air à - 3 °C de l'extérieur et rejetterait de l'air à 21 °C.
Certains modèles de VMC double flux intègrent d'autres fonctionnalités comme le préchauffage supplémentaire de l'air afin de l'insuffler directement à la température de confort dans le logement.

Le point essentiel à vérifier avant de choisir une VMC double flux est, par conséquent, le rendement de l'échangeur thermique. En effet, pour justifier le surcoût d'un tel système à l'achat et à la mise en œuvre, il faut un échangeur efficace, dont le rendement doit être supérieur à 90 %. Ce paramètre est très

variable d'un fabricant à un autre puisque les valeurs annoncées sont comprises entre 60 et 99 %.
Parmi les fonctionnalités complémentaires, il y a aussi le réglage automatique du débit en fonction du taux d'humidité dans l'habitation.
Si ces systèmes sont généralement imposants, il existe néanmoins des modèles compacts pouvant être installés dans une cuisine, par exemple. Les VMC double flux peuvent être installées également en habitat collectif. L'arrivée et le rejet d'air se font alors dans des canalisations communes.

Cette méthode de renouvellement de l'air offre de multiples avantages. D'abord le système d'échangeur permet de faire des économies de chauffage. Le confort intérieur est amélioré grâce au bon renouvellement d'air. Il n'y a pas de condensations, ni de sensation de courant d'air froid. L'air insufflé est plus sain, puisqu'il transite par un système de filtres antipollutions (particules, poussières ou pollens). Le bruit extérieur ne passe plus par les entrées d'air.

Parmi les inconvénients ou les contraintes, il y a la nécessité de réaliser une étanchéité à l'air optimale pour l'habitation. La mise en œuvre du système est plus compliquée que celle d'une VMC simple flux, puisque deux réseaux de conduits sont nécessaires, insufflation et aspiration, au lieu d'un seul. Évidemment, le coût global est aussi plus élevé que celui d'une VMC simple flux. Il est primordial de prévoir une évacuation pour les condensats qui se produiront dans le système. Il peut aussi être nécessaire d'installer un système anti-givre sur l'échangeur d'air (une résistance se met en route à partir de 3 °C).

En été, le rafraîchissement apporté par un tel système n'est pas significatif et dépend en grande partie du rendement de l'échangeur.
Si les avantages et les économies d'énergie qu'apporte la VMC double flux (figure 196) sont intéressants, ils peuvent encore être optimisés grâce à un puits canadien.

Le puits canadien

Aussi appelé puits provençal, le principe est ancestral. C'est en cherchant à optimiser les performances des VMC double flux que le concept est revenu au goût du jour, notamment en Europe du Nord, dans les constructions à basse consommation d'énergie. Le puits canadien trouve toute son utilité et fait preuve de l'efficacité maximale si on le couple à une VMC double flux. En effet, le rendement de l'échangeur de ces systèmes peut être amélioré si la différence de température entre l'air extrait et l'air entrant n'est pas trop importante. De plus, en été, la VMC double flux est intéressante mais n'apporte pas un confort significatif, car la fraîcheur intérieure n'est généralement pas suffisante.

C'est pourquoi, on s'est de nouveau intéressé au puits canadien qui était tombé dans l'oubli ou cantonné à quelques rares projets peu convaincants en période d'énergie bon marché.
Le procédé est pourtant très simple et on ne peut plus écologique. Il consiste à exploiter la température du sol. À partir d'une certaine profondeur, la température reste quasiment constante quelle que soit la saison comme c'est le cas, par exemple, dans une cave enterrée. À 1,50 m de profondeur, la température est

comprise en permanence entre 5 et 14 °C selon les saisons. À partir de 10 mètres de profondeur, elle ne varie pratiquement plus (figure 197). Pour bénéficier des calories accumulées dans le sol, il suffit de faire transiter de l'air dans une canalisation enterrée à bonne profondeur. Il sera réchauffé ou rafraîchi, par rapport à la température de l'air extérieur, avant de passer dans l'échangeur de la VMC, puis d'être insufflé dans l'habitation. En fait, le puits canadien joue le rôle de tampon thermique en offrant, à qui sait en profiter, l'inertie gratuite de la terre. En hiver, on profite de ses calories, d'où l'appellation de puits canadien. En été on profite des frigories, d'où l'appellation de puits provençal. Pour unifier les deux fonctions et ne pas faire la distinction entre l'usage d'hiver et l'usage d'été, on utilise aussi le terme de puits climatique.

Quel que soit son nom, le puits canadien fonctionne donc sur le principe de la géothermie. Naturellement, il n'est pas réservé aux VMC double flux et peut être adapté à n'importe quel système d'aération mécanique. Il suffit de créer une dépression intérieure pour aspirer l'air par le puits canadien, grâce à une VMC simple flux ou avec un extracteur raccordé. Cependant, l'intérêt est alors plus limité.

Par exemple (figure 198), en hiver, avec une température extérieure de - 10 °C et une température de sol à 2,00 m de profondeur de + 6 °C, la température de sortie d'air du puits canadien sera de + 2 °C. En été, avec un air extérieur à + 30 °C et une température de sol de + 15 °C, la température de l'air à la sortie du puits canadien sera de + 24 °C.

En couplant un puits canadien à une VMC double flux, les bénéfices sont maximaux et on élimine le risque de givrage de l'échangeur en hiver. Il n'y a aucune

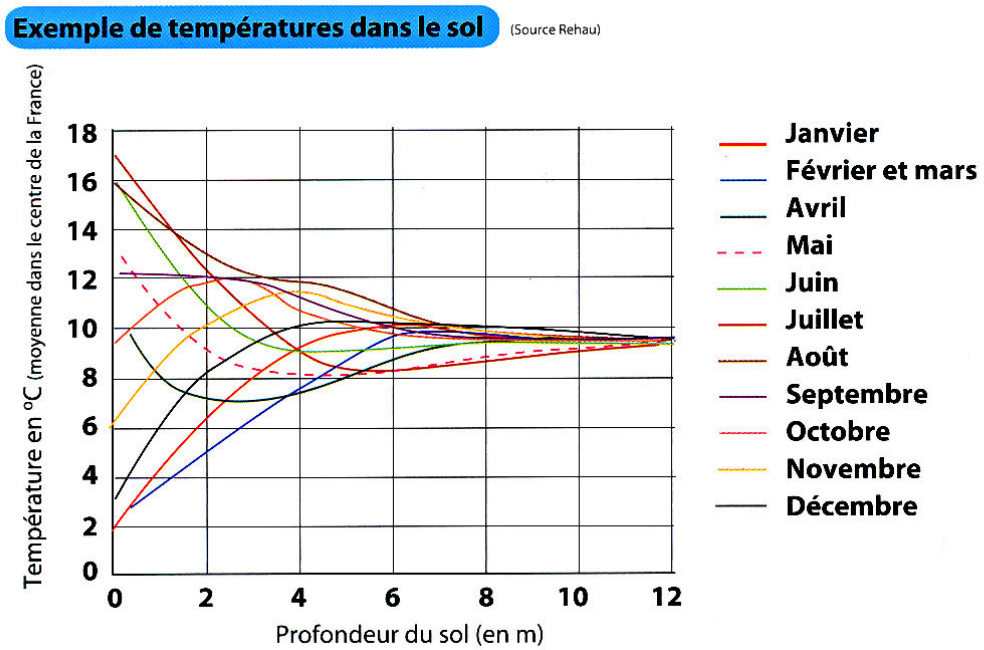


Figure 197 : Exemples de températures dans le sol

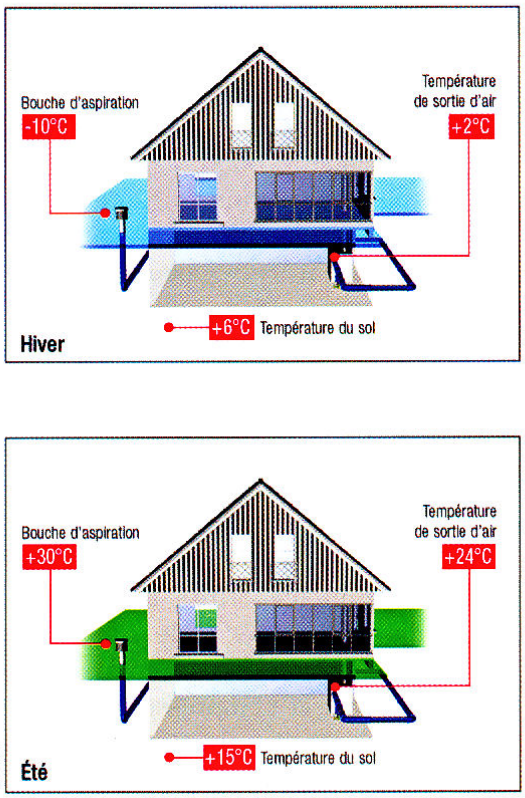


Figure 198 : Les échanges thermiques d'un puits canadien

consommation d'énergie supplémentaire. C'est le seul système de ventilation passive permettant le rafraîchissement sans recours à la climatisation : il consomme 10 fois moins d'énergie et ne diminue pas l'hygrométrie de l'air dans l'habitation.
Dans une maison bien isolée à basse énergie, sans puits canadien, les pertes par renouvellement de l'air peuvent représenter de 40 à 60 % des besoins en chauffage. Avec une installation de VMC simple flux hygroréglable et puits canadien, les pertes sont diminuées de 50 % environ. Avec une installation de VMC double flux et puits canadien, les pertes sont réduites de 80 % environ. Si la VMC est équipée d'un échangeur à haut rendement, la réduction peut même atteindre 95 %.

Pour obtenir un puits canadien efficace, il convient de bien étudier les besoins. Le collecteur doit avoir un diamètre suffisant. La longueur et la profondeur d'enfouissement doivent être adaptées pour apporter un échange thermique optimal. Il faut également veiller à ce que les condensats soient bien évacués. L'étanchéité doit être parfaite et il faut veiller à protéger l'installation contre toute pénétration d'animaux ou d'insectes. Le collecteur ne doit pas non plus être source de pollution intérieure. Outre la profondeur d'enfouissement, la nature du sol peut aussi avoir un impact sur les performances. Il faut également vérifier si le système sera vraiment efficace et rentable en fonction du climat, du degré d'isolation thermique de la maison et de son mode de chauffage.

Par exemple, en hiver, dans les régions méditerranéennes, le puits canadien présente une utilité relative. La différence de température entre l'air extérieur et celle du sol dépasse rarement 10 °C. En revanche, pour un climat continental, il est très efficace associé à une VMC double flux, pour réduire la consommation d'énergie.
De même, en été, en zone continentale, le puits canadien ne sera utile qu'en cas de fortes chaleurs, alors que dans les régions méditerranéennes, il fournira un rafraîchissement appréciable, surtout si l'on prévoit également une surventilation nocturne pour évacuer le surplus de chaleur.
Si en fonctionnement normal la VMC et le puits canadien assurent le renouvellement de l'air à raison de 0,5 volume/heure environ, il convient d'augmenter le débit en cas de fortes chaleurs. Pour bénéficier de la fraîcheur, il faut dans ce cas un renouvellement de l'air égal à un

voire deux volumes/heure. Par exemple, pour une pièce dont la température atteint 30 °C, si l'air d'apport a une température de 20 °C, la ventilation ne sera efficace que si le taux de renouvellement est supérieur à 0,5 volumes/heure. Avec un taux de 0,7 volumes/heures, il est alors possible d'abaisser la température intérieure de 2 °C. En augmentant le taux jusqu'à 2,5 volumes/heure, on peut maintenir la température intérieure en dessous de 27 °C aux heures les plus chaudes de la journée. En portant le taux à un niveau supérieur à 2,5 volumes/heures, la température ne dépassera pas 25 °C.

Pour être sûr de bien calculer un puits canadien adapté à votre cas, demandez une étude auprès d'un professionnel (bureau d'études, installateur...).
Un système de puits canadien comprend plusieurs éléments (figure 199) : une borne de prise d'air, une canalisation ou collecteur, un système d'évacuation des condensats, un bouchon de visite pour le nettoyage éventuel et un système de ventilation. Plusieurs fabricants proposent des kits complets pour réaliser un puits canadien (figure 200).
La borne de prise d'air se compose généralement d'un tube métallique en acier galvanisé. Elle est ancrée sur un socle en béton et reliée de façon étanche au collecteur. La prise d'air doit être suffisamment haute pour ne pas aspirer les polluants situés au ras du sol et être munie d'un ou plusieurs filtres. Une grille de protection doit empêcher l'entrée des insectes et des petits animaux. Un chapeau la protège des intempéries. Elle doit également être située à plus de 8 m de tout lieu de passage ou de stationnement des véhicules et le plus éloignée possible des plantes susceptibles de dégager beaucoup de pollens.

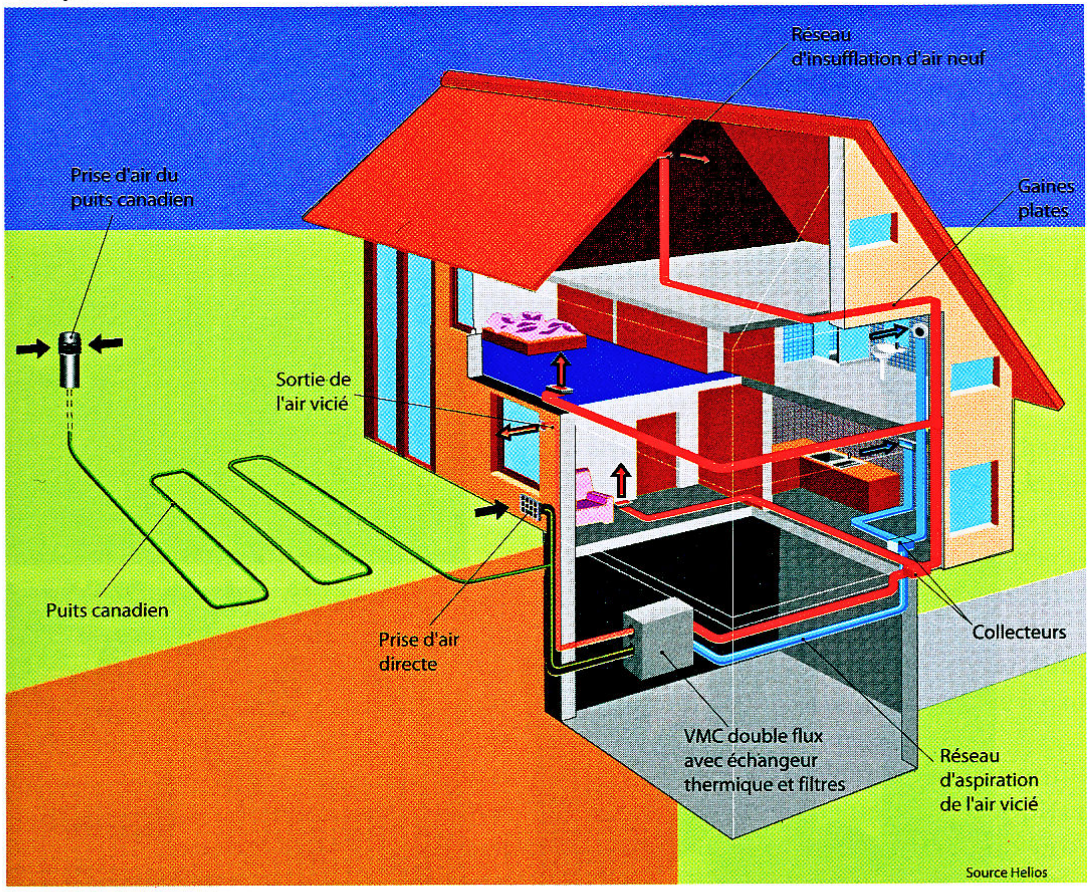
Le diamètre de la borne doit être adapté à celui du collecteur, lui-même compris entre 16 et 25 cm. Un diamètre supérieur n'améliorerait pas les échanges thermiques. Un diamètre inférieur ne permettrait pas une ventilation suffisante.

La vitesse de l'air est également importante. Pour que l'échange de chaleur soit optimal, la circulation de l'air dans le conduit ne doit pas dépasser 2 à 3 m/s. La paroi intérieure doit être lisse afin de ne pas freiner le débit d'air, ce qui entraînerait des pertes de charge. L'eau de condensation ne doit pas non plus pouvoir y stagner. En revanche, une paroi extérieure annelée offrira une surface d'échange thermique totale supérieure à celle d'une paroi lisse. Le conduit doit être résistant à la compression et étanche. Si des raccords sont nécessaires, ils doivent également être étanches. Dans le cas contraire, il pourrait se remplir d'eaux souterraines (nappes phréatiques) ou récolter des émanations de gaz radon qui seraient insufflées dans la maison. Certains tuyaux spécialement conçus reçoivent un traitement antibactérien. Généralement, le collecteur est en PEHD (polyétylène haute densité) souple ou rigide de qualité alimentaire ou en polypropylène, offrant une bonne conductibilité thermique. Le PVC n'est pas utilisé à cause de ses émanations éventuelles de COV. De même, la gaine électrique TPC n'est pas indiquée car non étanche au radon.

Si la profondeur d'enfouissement doit être supérieure à 1,20 m, une profondeur de 1,80 à 2 mètres est un bon compromis. Des profondeurs supérieures sont encore plus intéressantes en termes de rendement, cependant les contraintes de mise en œuvre, notamment la sécurisation des

La VMC double flux à échangeur thermique avec puits canadien

Principe



Exemple d'installation

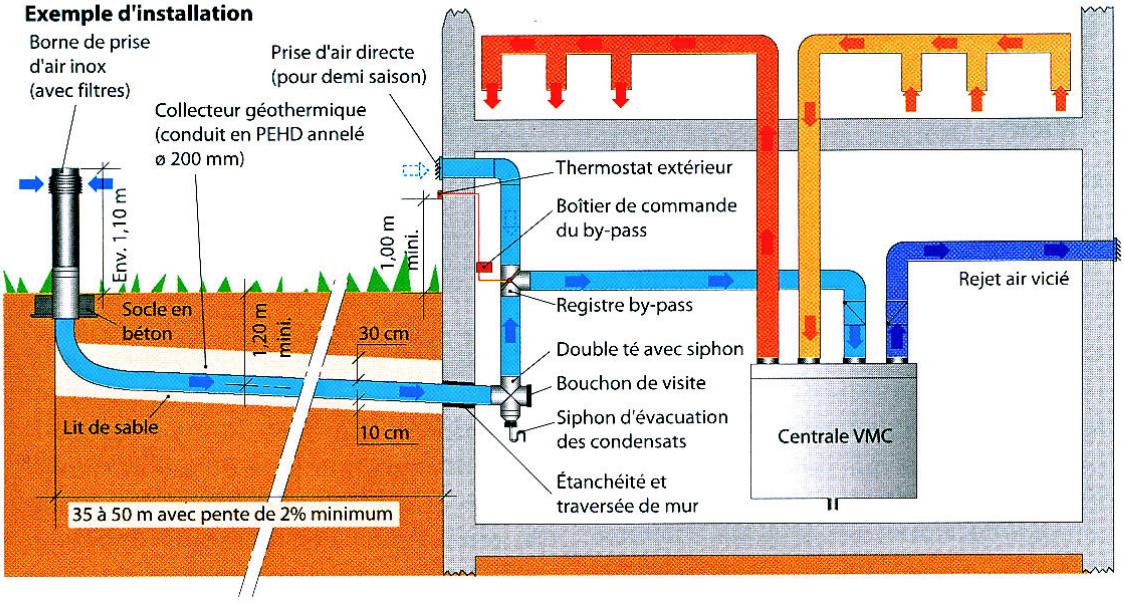


Figure 199 : La VMC double flux avec puits canadien

1 Kit pour puits canadien avec tubes rigides en polypropylène bactéricide

2 Exemple d'installation d'une prise d'air

3 Kit pour puits canadien avec tubes flexibles en PEHD, registre *by-pass*, traversée de mur et récupérateur de condensats

Figure 200 : Exemple de kit pour puits canadien

fouilles, augmente drastiquement le prix des travaux, ce qui rend le retour sur investissement plus incertain.

La longueur du collecteur est comprise entre 35 et 50 m. En dessous de 25 m, l'échange thermique n'a pas le temps d'être effectif, au-delà de 40 m, le rendement n'augmente plus de façon significative. Selon la configuration du terrain, le réseau peut être constitué d'un seul tube droit ou serpentant ou de plusieurs tubes parallèles. Il est préférable d'éviter de passer sous l'habitation.

Dans le sous-sol, on installe un té avec bouchon de visite et un dispositif d'évacuation des condensats. L'air peut alors être insufflé dans l'habitation. Avec une VMC double flux, il faut installer un dispositif supplémentaire composé d'un registre *by-pass* et d'une prise d'air directe sur l'extérieur. Le *by-pass* assure la commutation automatique ou manuelle sur la prise d'air directe extérieure ou sur le puits canadien. En effet, en demi-saison, air intérieur et air extérieur sont pratiquement à la même température, il est alors inutile de faire fonctionner l'échangeur pour refroidir ou réchauffer l'air transitant par le puits canadien.

Les VMC double flux thermodynamiques

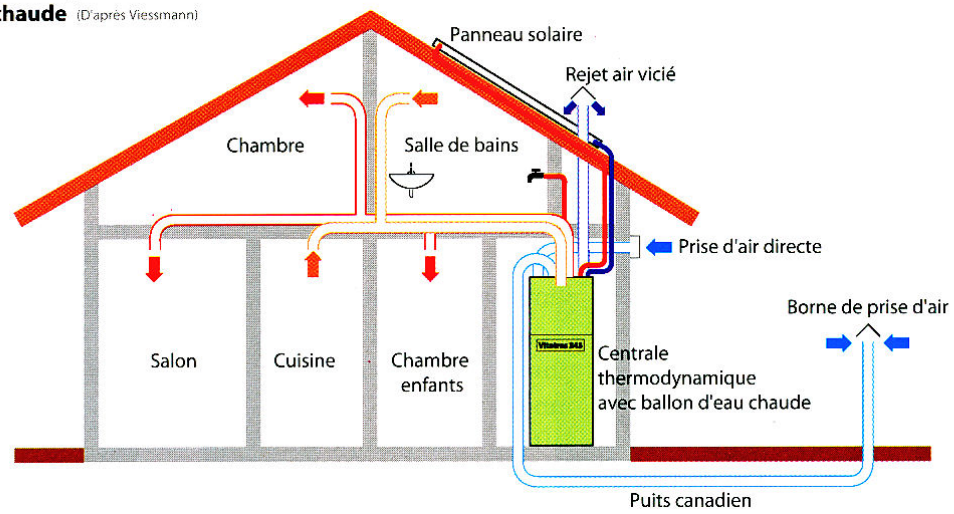
Les VMC double flux à échangeur thermique de même que les puits canadiens ou climatiques ont connu un vif essor outre-Rhin, grâce aux maisons passives ou à basse consommation. Une maison passive n'ayant pas recours aux systèmes de chauffage conventionnels, il fallait optimiser la ventilation pour ne pas créer de pertes inutiles. Néanmoins, en cas de températures très basses, il peut être nécessaire d'utiliser un système de chauffage d'appoint comme un poêle à bois par exemple. De plus, il reste toujours une demande d'énergie pour la production d'eau chaude, en toute saison. Pour combler ce besoin, on peut bien sûr avoir recours à l'énergie solaire thermique, ce qui pose d'autres problèmes, notamment en période de mauvais temps. Un accès à une source disponible d'énergie d'appoint reste nécessaire.
C'est en se basant sur ce constat que plusieurs industriels ont cherché à améliorer encore le système de VMC double flux à échangeur thermique. En plus de l'amélioration du rendement de l'échangeur, ils ont intégré au système une mini pompe à chaleur à basse consommation. Celle-ci profite des calories résiduelles présentes dans l'air, après son passage dans l'échangeur, pour chauffer un ballon d'eau chaude intégré ou indépendant. Pour une efficacité maximale, ces systèmes sont couplés à une installation de panneaux solaires thermiques (figure 201) et bien sûr à un puits canadien.

La pompe à chaleur contribue au chauffage de l'eau du ballon de stockage et peut éventuellement réchauffer ou éventuellement refroidir (système réversible) l'air insufflé dans la maison par la VMC.
Certains modèles permettent même d'alimenter un petit circuit de chauffage à eau chaude basse température.
Une résistance électrique d'appoint peut aussi être prévue pour suppléer aux besoins de chauffage ou de production d'eau chaude. Les VMC double flux thermodynamiques, ou tours thermiques (figure 202), sont donc des systèmes complets capables d'assurer toutes les fonctions requises pour une maison passive : ventilation, production d'eau chaude sanitaire, réchauffage ou rafraîchissement de l'air de ventilation et filtrage.

En période très froide, l'appoint peut consister uniquement à réchauffer l'air insufflé grâce à la mini pompe à chaleur.
La capacité des ballons de stockage d'eau sanitaire est plus ou moins importante selon la tour : on en trouve de 180 à 400 litres. Les modèles de base sont prévus pour des habitations jusqu'à 160

Les VMC double flux thermodynamiques

Principe avec production d'eau chaude (D'après Viessmann)



Exemple de VMC double flux thermodynamique avec chauffage et production d'eau chaude (D'apres Effiziento®)

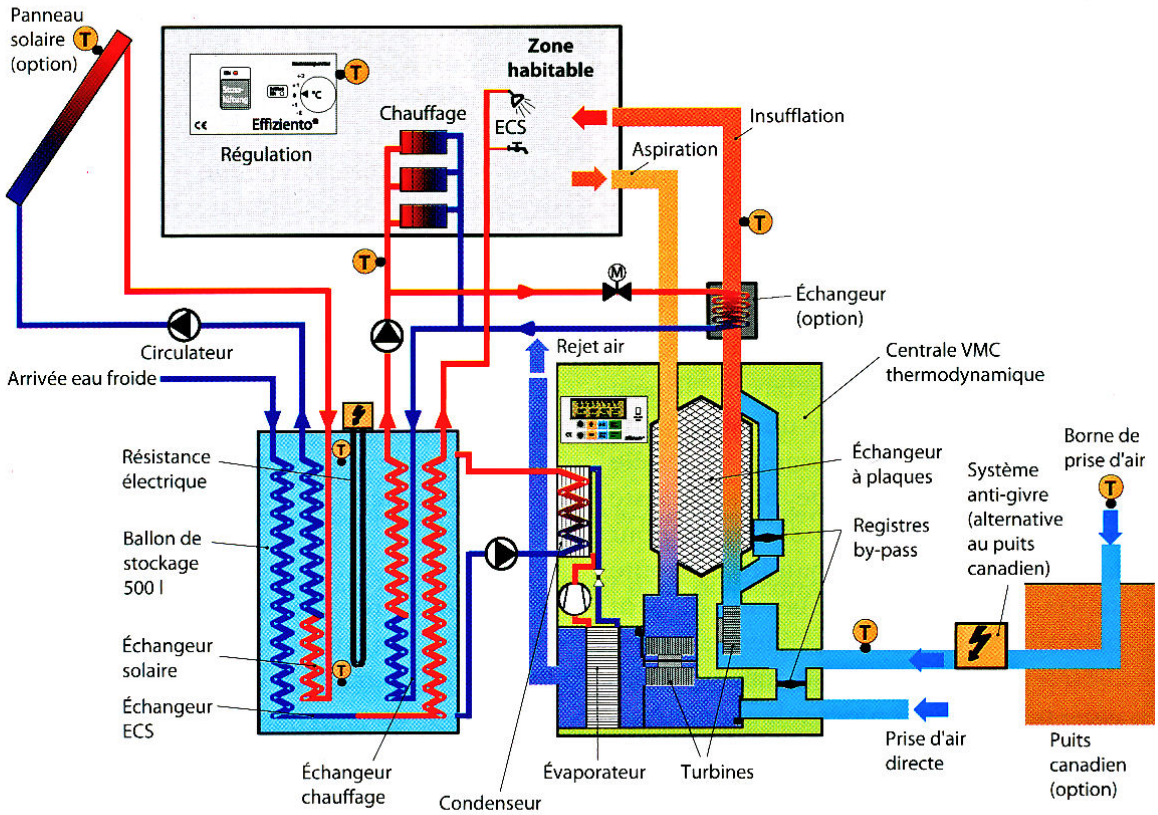


Figure 201 : Les VMC double flux thermodynamiques

Figure 202 : Exemple de VMC double flux thermodynamique

ou 180 m². En revanche, leur prix reste élevé et leur diffusion peu développée en France.
Les coûts de fonctionnement de ces systèmes sont fonction des besoins en ventilation, en chauffage et en rafraîchissement ainsi que d'éventuelles autres sources de chaleur.

Par exemple, l'estimation d'une tour thermique pour une maison passive de 160 m² construite selon les prescriptions du standard *Passivhaus Institut*, avec deux adultes et deux enfants au foyer, pour des besoins classiques en eau chaude, et avec l'utilisation d'un programme hebdomadaire approprié, est comprise entre 1 600 et 2 000 kWh par an (source Nilan™). Cela correspond à une consommation moyenne et peut varier à la hausse ou à la baisse selon les habitudes des occupants.

Attention, les modèles non conçus spécialement pour des maisons passives disposent souvent de pompes à chaleur ou d'appoints électriques beaucoup plus énergivores.

En conclusion, on constate que les systèmes de ventilation pour l'habitat sont nombreux, des plus simples aux plus technologiques et performants. Le tableau de la figure 203 présente un comparatif des différents systèmes avec ou sans puits climatique, avec les avan-

Comparaison des différents systèmes de ventilation

Type	Type de chauffage	Confort d'été	Confort d'hiver	Avantages	Inconvénients
VMC simple flux	Chauffage par convection (radiateurs, convecteurs)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures.	Pertes thermiques (limitées avec un modèle hygroréglable). Flux d'air froid l'hiver. Fait entrer la chaleur l'été.
	Chauffage radiant (plancher chauffant)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. La chaleur est stockée dans la dalle et le renouvellement d'air provoque peu de pertes.	Flux d'air froid l'hiver. Fait entrer la chaleur l'été.
VMC simple flux + puits canadien	Chauffage par convection (radiateurs, convecteurs)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. Limite la sensation d'air froid. Rafraîchissement l'été.	Pertes thermiques en hiver. Solution plus onéreuse qu'une VMC simple.
	Chauffage radiant (plancher chauffant)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. La chaleur est stockée dans la dalle et le renouvellement d'air provoque peu de pertes. Limite la sensation d'air froid. Rafraîchissement l'été.	Solution plus onéreuse qu'une VMC simple.
VMC double flux	Chauffage par convection (radiateurs, convecteurs)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. Limite la sensation d'air froid. Adapté aux climats rigoureux.	Solution plus onéreuse qu'une VMC simple. Les performances dépendent du rendement de l'échangeur. La maison doit être étanche. Pas de rafraîchissement l'été.
	Chauffage radiant (plancher chauffant)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. Meilleur répartition de la chaleur. Limite la sensation d'air froid. Adapté aux climats rigoureux.	Solution plus onéreuse qu'une VMC simple. Les performances dépendent du rendement de l'échangeur. La maison doit être étanche. Pas de rafraîchissement l'été.
VMC double flux + puits canadien	Chauffage par convection (radiateurs, convecteurs)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. Limite la sensation d'air froid. Rafraîchissement l'été. Évite la mise en route du chauffage de l'échangeur et le givrage du ventilateur.	Solution plus onéreuse. L'impact du puits canadien en hiver est négligeable. Pas de possibilité d'augmenter les débits d'air l'été.
	Chauffage radiant (plancher chauffant)			L'air est renouvelé. Évite la condensation et les moisissures. Limite la sensation d'air froid. Rafraîchissement l'été. Évite la mise en route du chauffage de l'échangeur et le givrage du ventilateur.	Solution plus onéreuse. L'impact du puits canadien en hiver est négligeable. Pas de possibilité d'augmenter les débits d'air l'été.

Mauvais Moyen Bon Très bon

Figure 203 : La comparaison des systèmes de ventilation

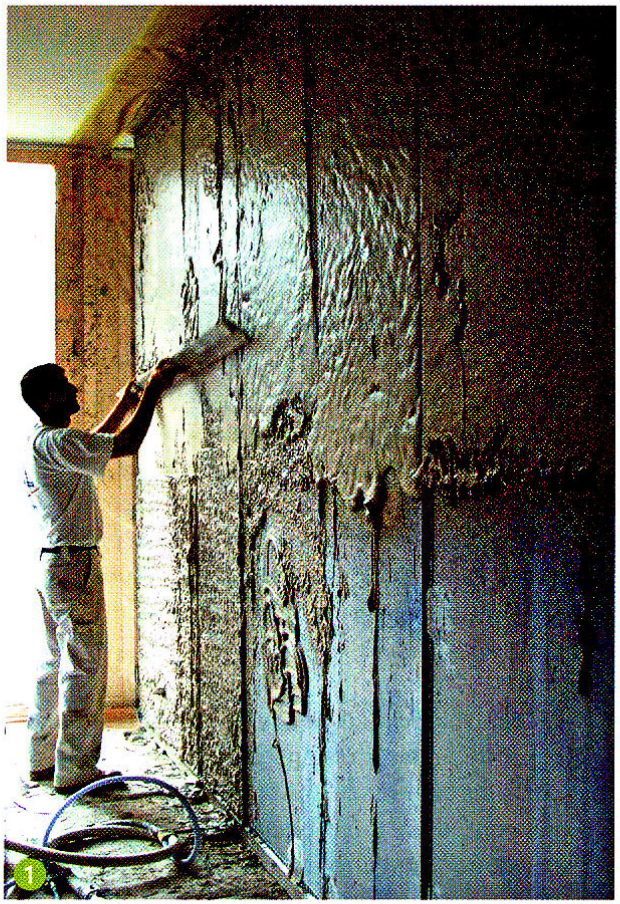
tages et les inconvénients, en fonction du mode de chauffage de l'habitation, aussi bien dans une optique de confort d'été que de confort d'hiver.

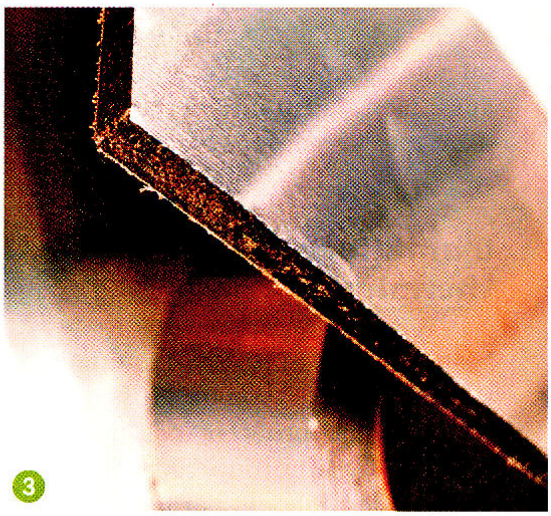
L'amélioration de l'inertie thermique

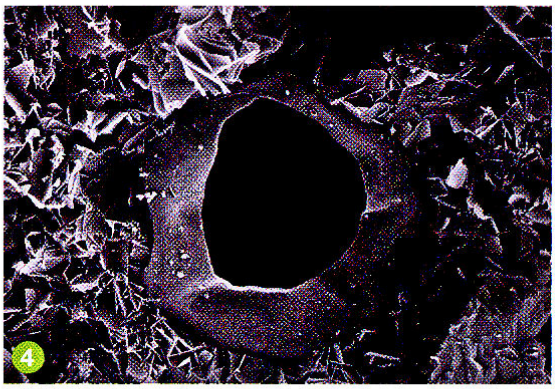
Les bâtiments isolés par l'intérieur ou à structure légère (combles, ossature bois ou acier) ne profitent pas de l'inertie thermique inhérente aux matériaux lourds. C'est elle qui permet d'améliorer notamment le confort d'été et de réduire la fréquence des besoins en chauffage. L'isolation thermique par l'intérieur permet de conserver la chaleur dans les pièces, ce qui est bien en hiver, mais pose un problème en été en cas de températures élevées ou en cas de forte exposition au rayonnement solaire, à cause d'une mauvaise orientation : la chaleur s'accumule dans la maison. L'une des solutions est le recours à des systèmes constructifs lourds pour les refends et les planchers. Cependant cette solution est difficilement applicable dans des combles ou dans une maison à ossature bois. On peut également choisir des matériaux isolants dotés d'une bonne inertie thermique. Toutefois, même les meilleurs isolants présentent des capacités d'inertie limitées, avec un coût supérieur aux isolants classiques. Pour le confort d'été, il y a encore la climatisation, mais les coûts engendrés et l'empreinte écologique en font une solution peut satisfaisante, à n'utiliser qu'en dernier ressort.

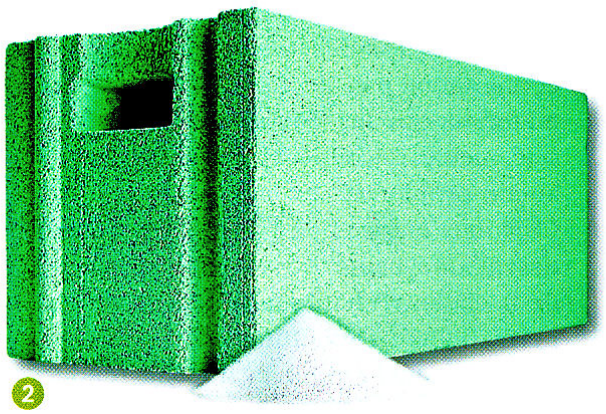
Comme indiqué dans la première partie, il existe une autre solution applicable notamment en rénovation : les matériaux à changement de phase (figure 204). Ils sont composés de micro-cellules de polymère ou copolymères, de 2 à 20 microns, qui renferment une paraffine. La fusion de cette matière, ou changement de phase, intervient à une température intéressante pour l'effet recherché. Elle peut être ajustée à la fabrication en fonction de l'application souhaitée, soit entre 23 et 26 °C, le plus souvent pour les applications dans le bâtiment. Lors du changement de phase, la paraffine absorbe la chaleur autour d'elle pour la stocker, ce qui ralentit ainsi la montée en température de la pièce. Quand la température baisse, la chaleur est libérée, ce qui ralentit le refroidissement de la pièce. Pour évacuer le surplus de chaleur, la surventilation nocturne est généralement nécessaire.

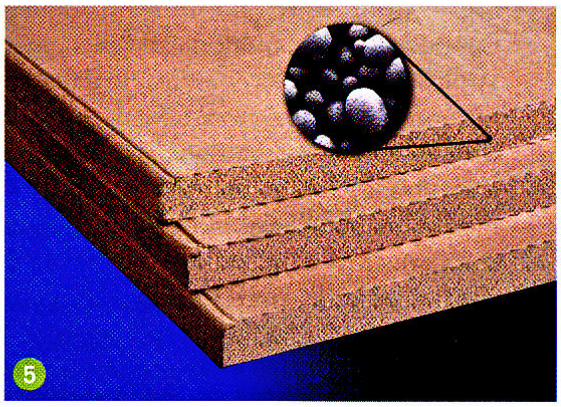
Si ces matériaux ne permettent pas de remplacer totalement la climatisation, dans les régions les plus chaudes, ils permettent d'en faire baisser sensiblement les coûts, soit environ 35 %. De même pour le chauffage, avec un gain estimé à 15 % (source DuPont™).
Les microcapsules très résistantes ne contiennent pas de formaldéhydes. Le matériau qui les enveloppe peut être scié, meulé, découpé, cloué ou vissé sans aucun problème.
Certaines plaques de plâtre MCP garantissent une haute capacité de stockage de la chaleur à hauteur de 110 kJ/kg, en permanence. Des études de durabilité ont été menées pour évaluer le rendement de ces produits à long terme. Après 10 000 cycles, les produits ont conservé leurs capacités de départ (source BASF). Si l'on considère 300 cycles par an, soit une moyenne élevée en climat continental, les MCP ont une durée de vie de plus de 30 ans. De plus, ils présentent le grand avantage de ne nécessiter aucune maintenance.











1. Application d'un enduit incorporant des MCP
2. Bloc de béton cellulaire avec MCP
3. Plaques de copolymères et de paraffine
4. Vue grossie d'une microcapsule de paraffine
5. Plaques de plâtre incorporant des MCP

Figure 204 : Les matériaux à changement de phase

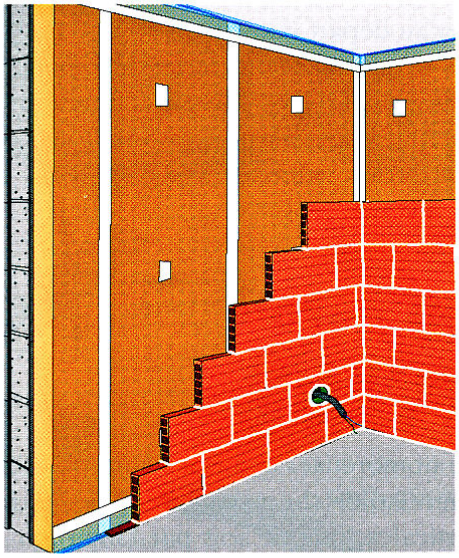
Les matériaux à changement de phase peuvent être intégrés dans différents systèmes et produits de construction, comme on peut le constater dans l'offre des industriels.

Des plaques composites (copolymère, aluminium et paraffine) sont disponibles dans les dimensions 1 000 x 1 198 mm, avec une épaisseur de 5,26 mm, pour un poids de 5 kg/m². Un film aluminium recouvre les deux faces. Les côtés sont recouverts également d'un adhésif à base d'aluminium. Le point de fusion de la paraffine de ces plaques (DuPont™ Energain®), soit 60 % du matériau, est de 21,7 °C. Elle se solidifie à partir de 18 °C. Le produit reste recoupable, il suffit de replacer une bande d'adhésif sur le champ coupé.

Ce type de plaques se pose en couche intermédiaire sur les ossatures métalliques, par exemple, entre l'isolant et les plaques de plâtre de finition. Elles peuvent jouer le rôle de pare-vapeur si bien sûr on assure l'étanchéité entre chaque plaques et entre les plaques et les parois au moyen de ruban adhésif (voir la mise en œuvre dans la troisième partie, page 651).
Il existe des produits MCP avec des températures de fusion/solidification différentes. Par exemple, certaines plaques s'utilisent en remplacement des plaques de plâtre traditionnelles (Micronal® PCM SmartBoard™). Elles ont des dimensions de 1 000 x 1 198 mm, pour une épaisseur de 15 mm et un poids de 11,5 kg/m². La température de fusion de leur paraffine est de 23 ou 26 °C. Elles contiennent 3 kg de MCP par mètre carré. Des essais en situation dans une maison de 120 m² ont été effectués, dont les plafonds ont été couverts avec ce type de plaques de plâtre. La capacité d'absorption de chaleur créée a atteint 40 000 kJ (11 kWh), soit l'équivalent d'une unité de climatisation de 4 kW connectée pendant une heure. Si l'on considère dix semaines de fonctionnement au cours de l'année, correspondant à la période la plus chaude, les MCP vont agir pendant 5 heures par jour, pour un total de 300 heures environ. Pendant ce temps, la climatisation n'est pas sollicitée. Avec une augmentation du prix de l'énergie de seulement 5 %, l'amortissement sera atteint après 5 ans.

Il existe aussi des plâtres pour enduits intérieurs avec MCP (Maxit Clima®). Ce produit, qui comprend 20 % de MCP, a déjà été expérimenté dans plusieurs projets constructifs en Allemagne. Il permet l'écrêtage efficace des températures intérieures sans apporter de surcharge à la construction, puisqu'il est intégré aux enduits de plâtre.

Les MCP peuvent encore trouver leur place dans les blocs de béton cellulaire en faible proportion (5 %). Cela permet d'augmenter encore la capacité thermique spécifique du béton cellulaire.



Les mises en œuvre

Cette troisième partie est consacrée à la mise en œuvre de la plupart des solutions et méthodes d'isolation thermique et/ou acoustiques présentées jusqu'ici. Naturellement, tous les cas de figure ne sont pas exposés, étant donnée la diversité des produits disponibles sur le marché. Par conséquent, nous nous limiterons aux procédés les plus courants, pouvant être déclinés à d'autres cas plus spécifiques, ou aux plus innovants, encore peu documentés. À partir des cas présentés, les possibilités sont nombreuses pour effectuer des adaptations en fonction de votre projet. Lorsque le choix d'une solution ou d'un matériau est arrêté, vous pouvez vous inspirer de la solution générale que nous vous présentons et approfondir une solution spécifique, par exemple en vous rapportant aux DTU (Documents techniques unifiés), s'il s'agit d'un procédé traditionnel. S'il s'agit d'un procédé nouveau ou innovant, reportez-vous à l'Avis technique du produit concerné ou aux notices des fabricants. Ceux-ci proposent généralement des fascicules pour la mise en œuvre de leurs produits, dans le respect des textes normatifs en vigueur.

Pour certaines solutions exigeant du savoir-faire ou un appareillage spécial, il est préférable de faire appel à un professionnel qualifié, afin d'éviter tout problème et obtenir une garantie. Par exemple, l'isolation des toitures-terrasses, avec la réalisation de l'étanchéité et des systèmes d'évacuation des eaux de pluie (siphon de sol, forme en pente...) n'est pas à la portée d'un bricoleur moyen. Il en va de même pour les solutions isolantes constructives qui nécessitent un minimum d'expérience pour maîtriser la technique : la stabilité de la construction en dépend. Cependant, l'autoconstructeur bien informé peut envisager de se lancer dans ce type de projet. Dans le cas d'une construction

monomur, cela ne dispense pas bien sûr d'avoir respecté toutes les étapes préliminaires comme l'étude de faisabilité, l'étude des sols, etc.
Un maximum d'informations utiles de mise en œuvre est présenté, afin que vous puissiez aussi comprendre ce que feront les professionnels auxquels vous aurez fait appel.
Lorsqu'un outillage spécifique est nécessaire, il est rarement rentable de l'acheter pour une seule opération, par exemple une machine à insuffler l'isolant, un échafaudage pour une isolation par l'extérieur, etc. Dans ce cas, choisissez la location.

Même si vous faites les travaux vous-même, ne négligez jamais les mesures de sécurité qui devront être respectées à tout moment, pas seulement au début pour se donner bonne conscience. Adoptez tous les dispositifs de protection individuels (lunettes, casque, masque, gants). N'hésitez pas à renforcer les précautions concernant les travaux en hauteur (échafaudage). Soyez toujours très vigilant avec les appareils électroportatifs, surtout si vous n'êtes pas familier avec leur usage. Lisez attentivement et appliquez les consignes d'utilisation des constructeurs.
Quel que soit le type d'isolant choisi, manufacturé classique, manufacturé naturel ou écologique, réalisez la mise en œuvre avec soin. Dans tous les cas, une pose minutieuse et soignée sera un gage de réussite et de performances respectées.

Naturellement, avant de vous lancer dans la phase pratique, cela suppose que vous avez déjà évalué vos besoins ou effectué des calculs thermiques et choisi en fonction les isolants appropriés (nature, épaisseur, résistance thermique). N'oubliez pas que l'isolation peut être considérée comme un investissement puisque l'argent que vous allez lui consacrer au départ vous permettra de réaliser des économies sur votre consommation future d'énergie. L'énergie la moins chère est celle que l'on ne consomme pas. De plus, vous valorisez votre bien en cas de revente.

Les parois verticales

De nombreuses solutions sont possibles pour isoler thermiquement les parois verticales, que ce soit par l'intérieur ou par l'extérieur. Les mises en œuvre les plus aisées et les plus rapides concernent les isolants rapportés. En cas d'isolation par l'extérieur, la réalisation d'un bardage exige plus de technicité et le respect des règles de mise en œuvre afin d'éviter les déconvenues. De même, l'isolation répartie ou la technique du double mur font appel aux techniques constructives, ce qui implique de multiples domaines de compétence. En règle générale, hormis ces derniers cas, toutes les techniques d'isolation rapportée sont adaptables pour un projet neuf ou dans le cadre d'une rénovation.

L'isolation thermique par l'intérieur

L'isolation thermique par l'intérieur, ne nécessitant pas une grande technicité, est accessible au bricoleur moyen et s'avère peu onéreuse. Aucun outillage spécifique n'est nécessaire. La figure 205 présente l'équipement de base pour réaliser

L'outillage du plaquiste

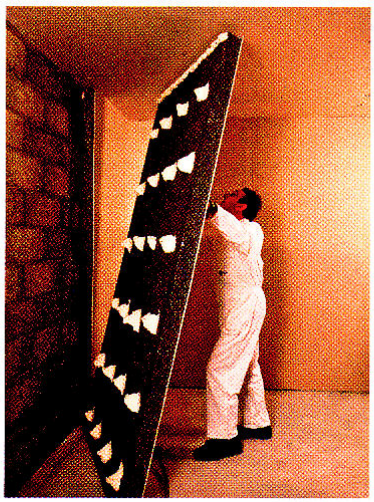
Figure 205 : L'outillage du plaquiste

l'isolation par l'intérieur des parois verticales ou des combles. Il concerne principalement le travail des plaques de plâtre, c'est pourquoi il s'applique aussi de façon plus générale au montage des cloisons légères.
Les matériaux pour l'isolation par l'intérieur sont aussi très disponibles, dans tous les réseaux de distribution professionnels ou grand public.
Pour les mesures et les traçages, munissez-vous d'un crayon de charpentier, d'un cordeau à tracer, d'un fil à plomb, de cordelette, d'un niveau à bulle et d'un mètre ruban.
Pour la pose des complexes isolants, procurez-vous une règle de maçon en aluminium de 2,00 m et une scie égoïne pour matériaux.

Pour préparer le mortier adhésif qui servira à poser les plaques de plâtre à bords amincis et l'enduit pour les joints, il faut une auge à gâcher, une truelle pour le mélange des produits, et plusieurs couteaux de plaquiste de diverses largeurs. Les lames de ces couteaux doivent être en acier inoxydable et dans un état parfait. Pour la découpe des plaques de plâtre vous pouvez utiliser un cutter et un rabot râpe, utile pour rectifier les bords.
Pour les ossatures métalliques, une scie à métaux convient, mais vous gagnerez énormément de temps en choisissant une cisaille grignoteuse. De plus, vous obtiendrez un travail soigné avec moins d'efforts. Pour fixer les plaques de plâtre sur les ossatures, oubliez le tournevis simple et préférez-lui une visseuse sans fil ou filaire.
Enfin, pour manipuler et présenter les plaques de plâtre avant fixation, il faut être deux et ne pas craindre certains mouvements acrobatiques. N'hésitez pas à louer des outils faisant levier ou mieux un lève-plaques, disponible chez tous les loueurs spécialisés. Si vous êtes seul poseur, cela est indispensable, notamment pour la pose en hauteur.

Naturellement, cette liste n'est pas limitative. Vous pouvez également prévoir une perceuse avec une scie cloche pour la pose des boîtiers électriques, un système de fer chaud pour faire des rainures dans les isolants plastiques, voire un couteau spécial pour la découpe des laines minérales. Il va de soi également que vous devez disposer de l'outillage standard que tout bricoleur possède dans sa boîte à outils (tournevis, marteau, mètre...).
L'outillage concernant certaines mises en œuvre spécifiques sera détaillé dans les paragraphes correspondants.

Les complexes isolants



Un complexe isolant manufacturé comprend un parement, généralement une plaque de plâtre à bords amincis, sur lequel est collé une couche plus ou moins épaisse d'isolant qui peut être de différentes natures. S'il s'agit d'une laine

minérale, la colle est une résine thermofusible. Pour les plastiques alvéolaires, la colle est en polyuréthane ou urée-formol. Le complexe peut intégrer ou non un pare-vapeur, qui peut-être en kraft/aluminium, en kraft/polyéthylène, en PVAC ou simplement en aluminium. Les complexes sont classés selon trois catégories en fonction de leur degré de perméance (résistance à la vapeur d'eau). La catégorie P1 représente les plus perméables et P3 les moins perméables. Généralement, les produits P1 et P2 ne sont pas pourvus de pare-vapeur.

Les complexes classés P1 sont destinés aux parois en maçonnerie et en béton, dont la résistance thermique est supérieure ou égale à 0,086 $m^2.K/W$ pour les constructions situées en dehors des zones très froides.

Les complexes classés P2 sont destinés aux parois en béton d'une épaisseur inférieure à 15 cm, dont la résistance thermique est inférieure à 0,086 $m^2.K/W$ pour les constructions situées en dehors des zones très froides.

Les complexes classés P3, pourvus d'un pare-vapeur, sont destinés aux parois verticales en maçonnerie ou en béton en zone très froide (température de base inférieure à - 15 °C ou altitude supérieure à 600 m en zone H1) et aux murs revêtus d'un enduit plâtre, et ce quelle que soit la résistance thermique du mur.
Pour la pose sous rampants, vous devez choisir un complexe P3, dont l'isolant a une épaisseur inférieure ou égale à 80 mm.
Les complexes isolants n'offrent pas la maîtrise du flux de vapeur par conduction, au niveau des joints et aux jonctions avec le gros œuvre.

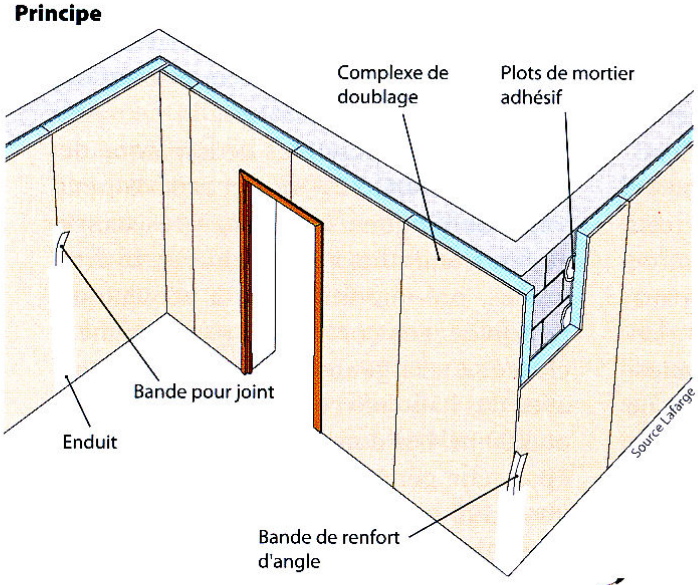
Les complexes posés contre des parois intérieures séparatives, distributives, ou contre une paroi de cage d'ascenseur peuvent ne pas comporter de pare-vapeur.
Les épaisseurs possibles de la plaque de plâtre sont 9,5, 12,5 ou 15 mm. Il peut s'agir de plaques standard, à résistance au feu améliorée, à haute dureté, hydrofugées, pré-imprimées ou à acoustique renforcée. Les complexes sont commercialisés en largeurs de 0,60 ou 1,20 m, avec des hauteurs comprises entre 2,40 m et 3,00 m. Les couches d'isolant ont une épaisseur généralement comprise entre 20 et 120 mm, qu'elles soient en plastiques alvéolaires ou en laines minérales (figure 206).

Il existe également des panneaux sandwich isolants qui consistent en un isolant pris entre deux plaques de plâtre. Ils peuvent servir à l'isolation des parois verticales, par fixation mécanique sur des tasseaux, ou pour la réalisation de pieds droits dans les combles aménagés. Cependant, ce type de produit n'est pas très utilisé.

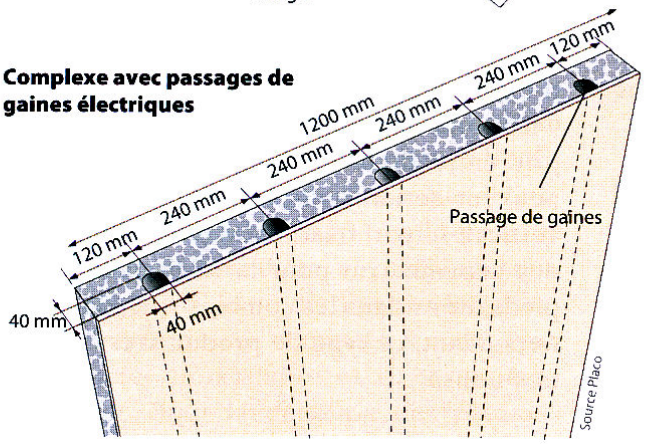
Le domaine d'emploi des complexes isolants est défini par la norme NF P 72-204 ou DTU 25-42. Elle stipule qu'ils peuvent être utilisés pour le renforcement de l'isolation thermique des parois verticales en maçonnerie ou en béton, neuves ou anciennes. La pose peut s'effectuer par collage, au mortier adhésif, ou par vissage sur des tasseaux. La fixation mécanique sur une charpente ou une ossature bois est également possible. Il en est de même pour les plafonds horizontaux sous combles perdus, accessibles ou non, pour l'habillage des combles aménagés (plafonds horizontaux, rampants sous couverture, pieds-droits) et pour

Les complexes isolants

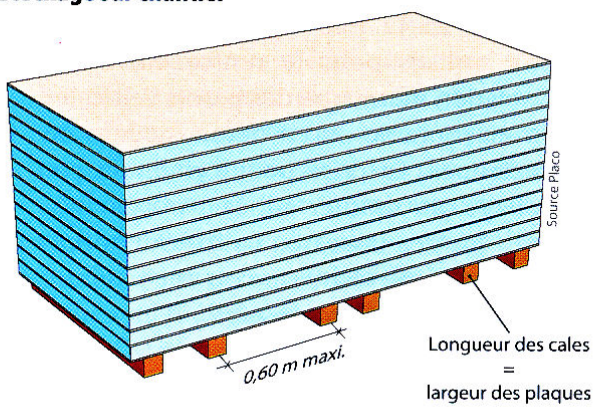
Principe



Complexe avec passages de gaines électriques



Stockage sur chantier



Types de complexes

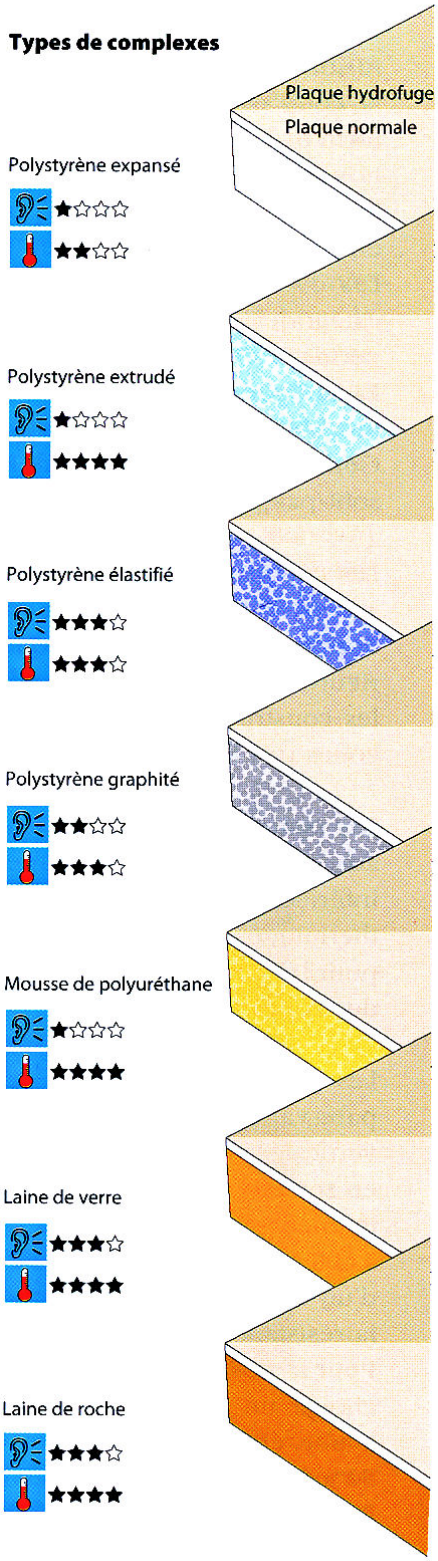


Figure 206 : Les complexes isolants

l'habillage des maisons à ossature bois.
Sur les murs en maçonnerie ou en béton d'une épaisseur supérieure à 15 cm, et en dehors des zones très froides, les complexes P1 et P2 peuvent être mis en œuvre par collage ou par vissage sur des tasseaux. Si l'épaisseur de béton est inférieure à 15 cm, seuls les complexes P2 sont autorisés.
Sur les murs enduits au plâtre, seule la pose sur tasseaux verticaux est autorisée. La pose collée sur ce type de mur est interdite.

Les complexes P3 peuvent être posés par collage ou par vissage sur tasseaux, sur tous types de murs et dans toutes les conditions.
La mise en œuvre des complexes isolants doit s'effectuer dans des locaux à l'abri des intempéries. Avant le début des travaux, il convient de les stocker à plat, à l'abri de l'humidité, des chocs et des salissures. Pour ce faire, utilisez des cales disposées dans le sens de la largeur et espacées de 60 cm, au maximum. Les cales doivent avoir une largeur minimale de 10 cm et une longueur au moins égale à la largeur des plaques.

Les complexes cassés, fissurés ou dont le pare-vapeur est détérioré ne doivent pas être employées. S'ils présentent des ruptures complètes, utilisez-les comme chutes.
En cas de panneaux avec isolant plastique alvéolaire déformés, s'ils présentent un défaut supérieure à 10 mm sous une règle de 2 m, il est possible de rétablir la rectitude de la plaque de plâtre en tranchant l'isolant longitudinalement et transversalement tous les 40 cm sur les trois quarts de la hauteur de l'isolant.
Il convient de mettre en place les conduits électriques avant la pose des plaques. Les canalisations de plomberie peuvent traverser un complexe uniquement de façon perpendiculaire.
Attention, si le mur support présente des défauts de planéité ou un faux aplomb supérieurs à 15 mm, la pose collée ne convient pas. Optez dans ce cas pour une mise en œuvre sur tasseaux ou orientez-vous vers un autre système d'isolation thermique.

Quel que soit le type de pose retenu, le support doit être sain, homogène et ne pas ressuer l'humidité.
Avant de commencer, tracez au sol l'implantation du doublage, au moyen d'un cordeau traceur. Reportez le tracé au plafond et sur le mur en utilisant un fil à plomb. Pour effectuer le traçage, n'oubliez pas de prendre en compte l'épaisseur du complexe et celle de la colle, soit 1 cm environ, ou celle de l'ossature en cas de pose sur des tasseaux.
En neuf, le nu intérieur des menuiseries sert généralement de plan de référence. En rénovation, selon la position de la menuiserie, il peut être nécessaire de mettre en place des tapées intérieures, fixées sur les dormants, qui permettront de correspondre à l'épaisseur finie du doublage. Le traçage permet de vérifier le bon positionnement et l'alignement des complexes pendant la pose.

Pour la pose collée, le mur doit être sain, non gras, non poussiéreux, ni humide et présenter une bonne adhérence : il ne doit pas sonner creux. Si l'enduit est peu adhérent, piquez-le et réparez-le. Comblez les fissures les plus importantes.
L'application du mortier adhésif peut s'effectuer sur les complexes. Dans ce cas, retirez ou décapez le revêtement existant (papier peint, peinture écaillée, etc.). Vous pouvez également poser les

plots de mortier directement sur le mur. Procédez alors au décapage préalable de l'emplacement de chaque plot. Si la peinture est lisse et brillante, préférez plutôt une fixation mécanique.
Pour les complexes avec du polystyrène expansé, la pose par collage est autorisée jusqu'à une épaisseur maximale de l'isolant de 120 mm.

Outre l'outillage présenté, vous aurez besoin de mortier adhésif. Choisissez le produit recommandé par le fabricant des complexes. Il vous faut également de la laine de calfeutrement ou de la mousse de polyuréthane en bombe, selon l'isolant et les conditions d'installation. Pour réaliser les joints entre les plaques de plâtre, procurez-vous de l'enduit en quantité suffisante et de la bande de papier, normale pour les angles rentrants ou renforcée pour les angles saillants.
Découpez les complexes selon la hauteur du sol au plafond minorée de 1 cm. Débutez la pose dans un angle de la pièce, en ayant vérifié auparavant son bon équerrage. En cas de fausse équerre, découpez la plaque si nécessaire, en plaçant le bord aminci restant, parfaitement d'aplomb, à l'opposé de l'angle.
Posez la plaque découpée, isolant vers le haut, sur des tréteaux ou des cales afin de ne pas la dégrader ni salir le parement. Appliquez le mortier-colle, gâché selon les consignes de la notice du fabricant, directement sur l'isolant ou sur le mur, par plots réguliers.

Comptez environ dix plots de 200 g chacun environ, soit 10 cm de diamètre par mètre carré. Cela correspond à quatre plots dans le sens de la largeur du complexe, avec une rangée tous les 40 cm (figure 207). Sur les côtés, les plots ne doivent pas être disposés à moins de 10 cm du bord de la plaque. Pour améliorer l'étanchéité à l'air du doublage en partie haute, il est judi-

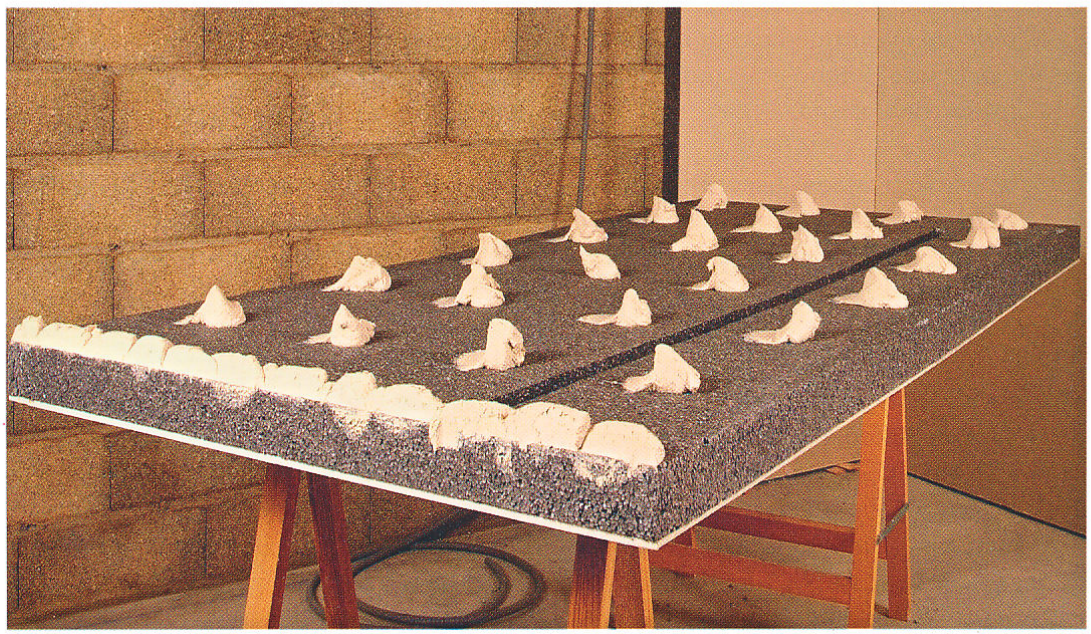


Figure 207 : L'application des plots de mortier adhésif

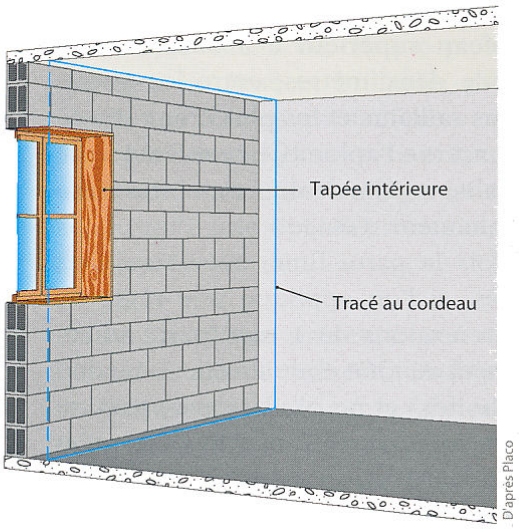
cieux d'y déposer une bande de mortier adhésif de 5 à 10 cm de largeur. Celle-ci doit être discontinue afin d'éviter l'effet de ventouse.
Pour les complexes à base de laine minérale, l'application des plots s'effectue en deux étapes. La première consiste à déposer, à l'endroit des plots et au moyen d'un couteau à enduire, une passe de mortier adhésif. Exercez une pression suffisante pour le faire pénétrer dans les fibres. Après séchage, appliquez les plots sur les bandes que vous venez de créer (figure 208).
Certains complexes, à base de laine de roche notamment, comportent une couche d'isolant surdensifié à l'arrière, qui rend inutile la création des bandes de mortier adhésif.

Plaquez les complexes munis de leurs plots contre le mur, à l'avancement. Ils doivent être appuyés suffisamment contre le mur et en butée contre le plafond. Pour cela, la solution la plus simple consiste à placer des cales de 1 cm, à la base du panneau, avant de le faire basculer contre le mur. Vous pouvez aussi utiliser un cale-plaque ou un levier à panneaux.
Pour régler le positionnement des complexes, frappez-les ou exercez une pression avec une règle de 2 m, sur toute la surface de la plaque de plâtre. Vérifiez bien l'aplomb, l'alignement et l'affleurement entre les plaques.
Entre le dernier panneau et le gros œuvre, ménagez un jeu de 10 mm.
Si une plaque est légèrement déformée (bombage compris entre 5 et 10 mm), il est nécessaire d'assurer son serrage jusqu'au séchage complet de la colle. Pour cela, placez un tasseau en biais, en appui sur le sol et contre le complexe, en prenant soin d'intercaler une planche pour ne pas abîmer la plaque de plâtre.
La planéité générale doit être correcte, sans écart supérieur à 5 mm, sous la règle de deux mètres, entre les points les plus saillants et les plus creux. En ce qui concerne l'aplomb, une tolérance de verticalité maximale de 5 mm est admise sur la hauteur d'étage.
Une fois la paroi finie, avec ses joints réalisés, si l'on applique une règle de 2,00 m à talons de 1 mm, perpendiculairement au joint enduit, celle-ci ne doit pas « boiter » et ne pas laisser apparaître d'écart supérieur à 2 mm avec le point le plus bas.
Les complexes doivent également être parfaitement jointifs, sans écart ni jour entre eux.

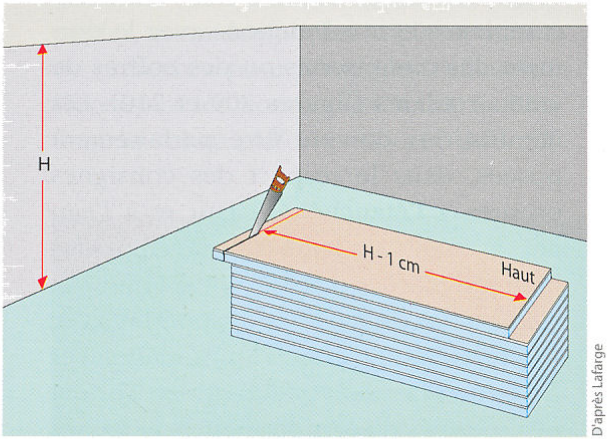
Soignez l'étanchéité à l'air entre les complexes et aux jonctions avec le dormant des menuiseries ou des coffres de volets roulants (figures 209 et 210). Les menuiseries doivent être parfaitement posées, dans le respect des consignes propres à l'étanchéité à l'air et à l'eau des dormants. La lame d'air créée par les plots de mortier adhésif entre le mur et l'isolant ne doit pas correspondre avec l'air intérieur. En effet, l'air froid en hiver peut entraîner des condensations. Surtout ne créez pas d'aérations hautes et basses à travers les doublages.

Les complexes et leur isolant doivent donc être en contact avec la menuiserie, lorsqu'elle est posée au nu intérieur de la maçonnerie, ou avec les tapées, si elle est installée en ébrasement. Pour réaliser l'étanchéité entre la plaque de plâtre et la menuiserie, utilisez un mastic souple extrudé ou injectez une mousse de polyuréthane expansive.
Si la hauteur des parois dépasse celle des complexes, soit 3,60 m pour les

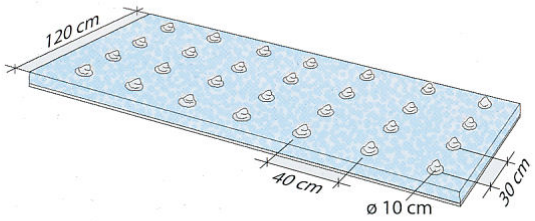
Pose de complexes collés (1/2)



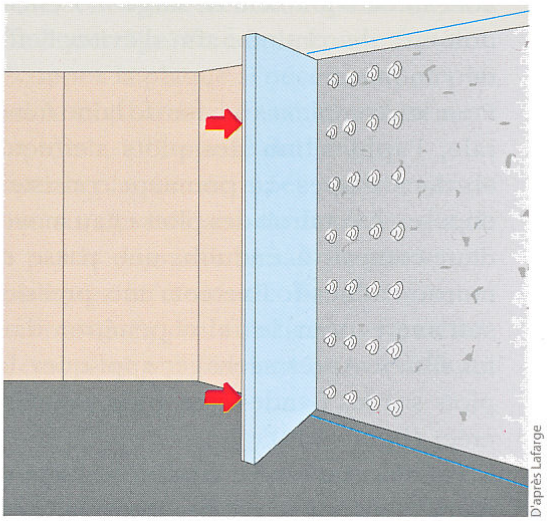
1 - *Tracez au sol, au plafond et aux murs l'implantation des complexes de doublage. L'épaisseur du doublage est majorée de1 cm (épaisseur des plots de colle). Tenez compte également des tapées intérieures des fenêtres.*



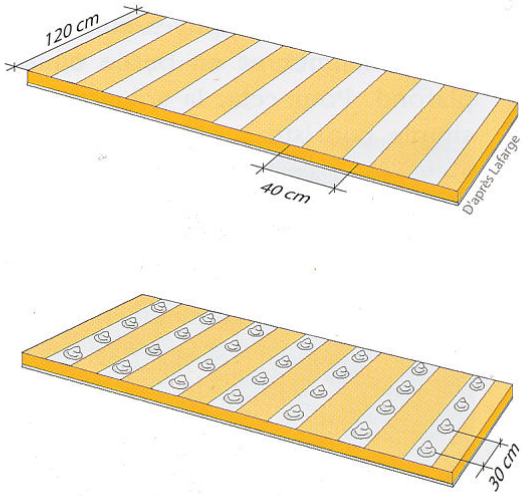
2 - *Découpez les plaques de la hauteur sol/plafond moins 1 centimètre.*



3 - *Pour les isolants alvéolaires, disposez des plots de MAP au dos du complexe, comme indiqué ci-dessus.*



4 - *En rénovation, il est possible d'appliquer directement les plots de mortier adhésif sur la paroi après avoir préalablement nettoyé les points d'accrochage.*

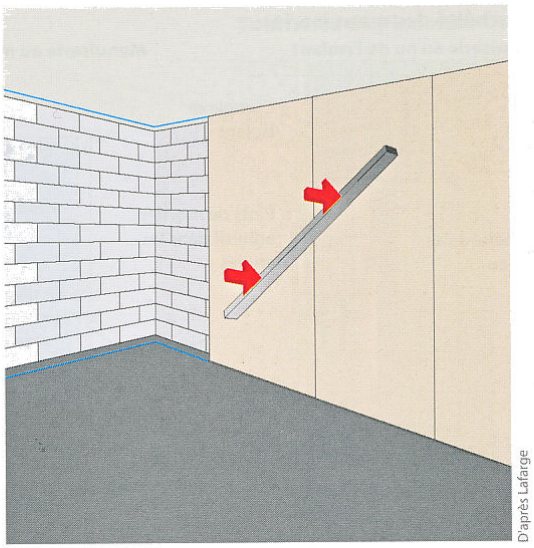


5 - *Pour les isolants fibreux (laine de roche, laine de verre…) appliquez des bandes de mortier adhésif au couteau à enduire, espacées de 40 cm. Déposez ensuite des plots de morier adhésif sur les bandes (environ 15 plots au m²).*

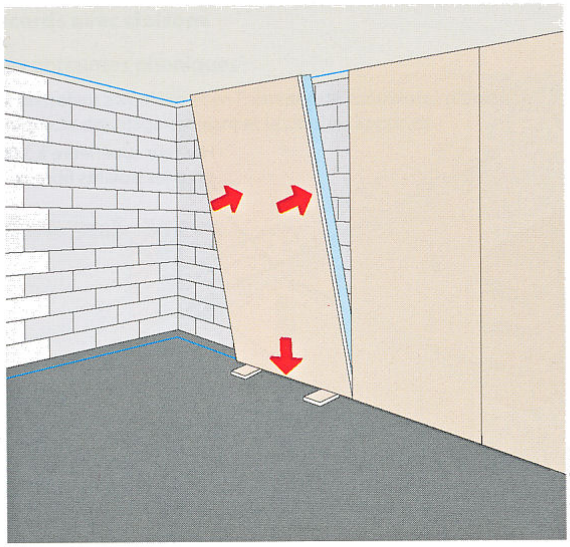
Figure 208 (1/2) : Le collage des complexes isolants

Pose de complexes collés (2/2)

6 - *Après encollage du complexe, débutez la pose dans un angle de la pièce. Les plaques sont appliquées contre la paroi et collées par chocs à l'aide d'une règle de 2 m en bois ou en aluminium. Elles doivent coller au plafond.*



8 - *Les plaques sont ensuite posées à l'avancement. Elles doivent être parfaitement jointives et sur le même alignement. Vérifiez l'alignement et l'aplomb à chaque nouvelle plaque.*



7 - *Pour respecter l'écart au sol de 10 mm, placez des chutes de plaque de plâtre sous le complexe à coller. Installez le complexe sur les cales et faites-le pivoter contre la paroi. Assurez le collage comme précédemment à l'aide d'une règle.*

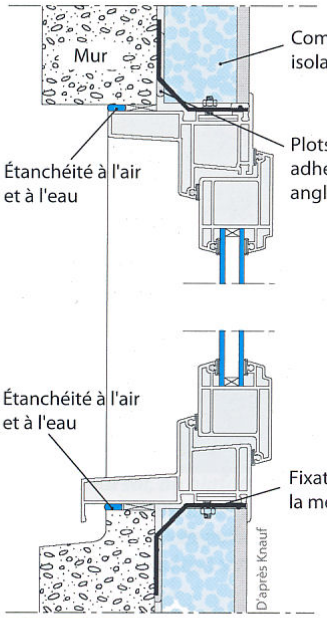
9 - *Les menuiseries sont équipées de tapées intérieures dont la largeur est fonction de l'épaisser de l'isolant. Les plaques sont découpées au plus juste pour colller à la tapée de tous côtés.*

Figure 208 (2/2) : Le collage des complexes isolants

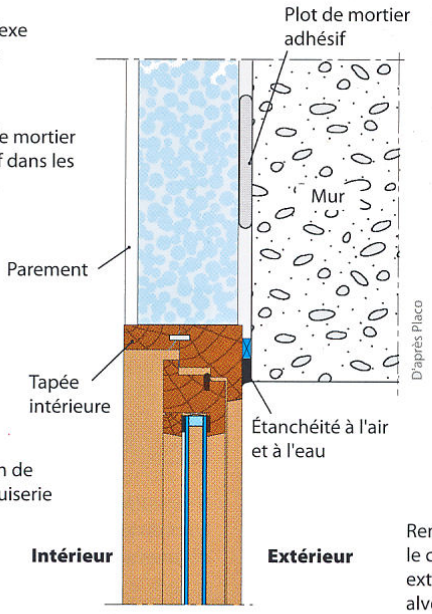
Pose de complexes collés (points singuliers)

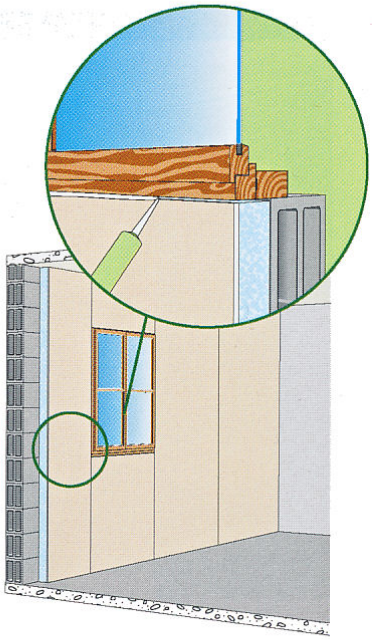
Étanchéité des menuiseries

Menuiserie au nu de l'isolant



Menuiserie au nu intérieur de la maçonnerie

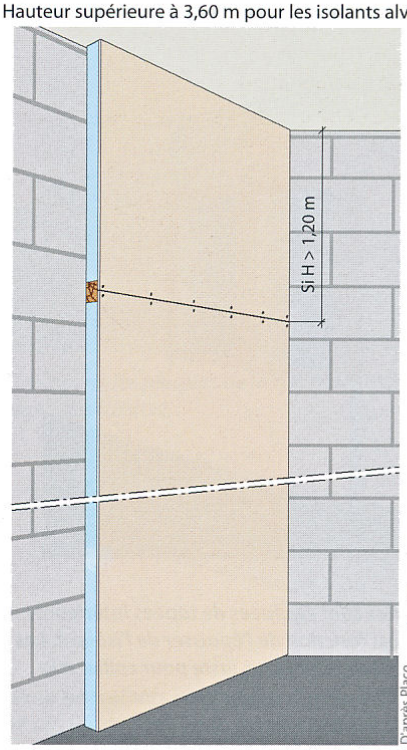


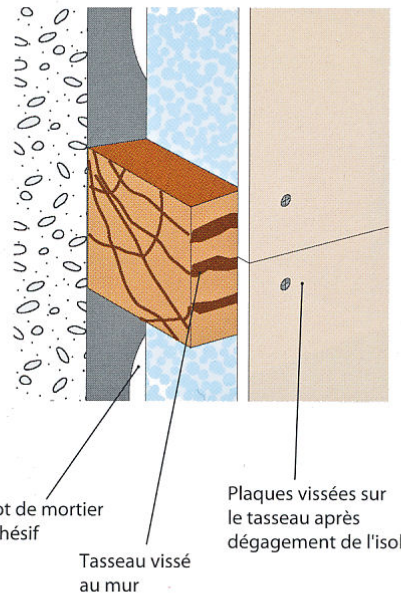


Renforcement de l'étanchéité entre la menuiserie et le complexe isolant par injection d'un mastic souple extrudé ou une mousse de polyuréthane (isolants alvéolaires).

Pose de complexes sur une grande hauteur

Hauteur supérieure à 3,60 m pour les isolants alvéolaires





Hauteur supérieure à 3,00 m pour les isolants fibreux

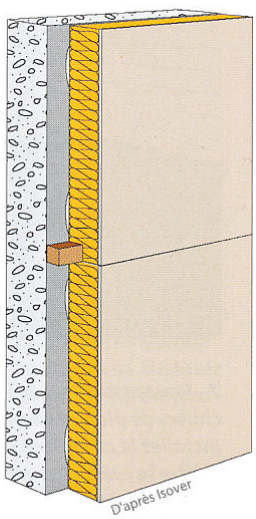
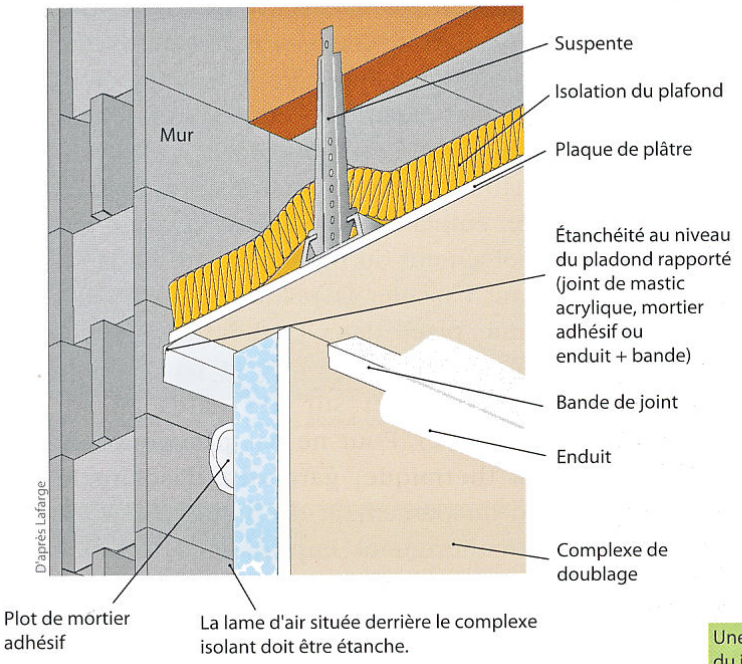


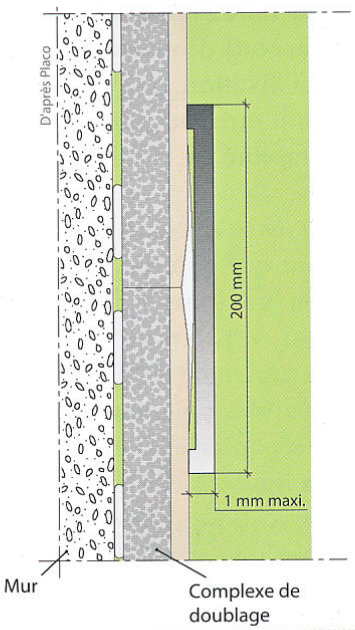
Figure 209 : Les points singuliers du collage de doublages

Pose de complexes collés (autres points singuliers)

Liaison avec un plafond rapporté



Tolérance de planéité

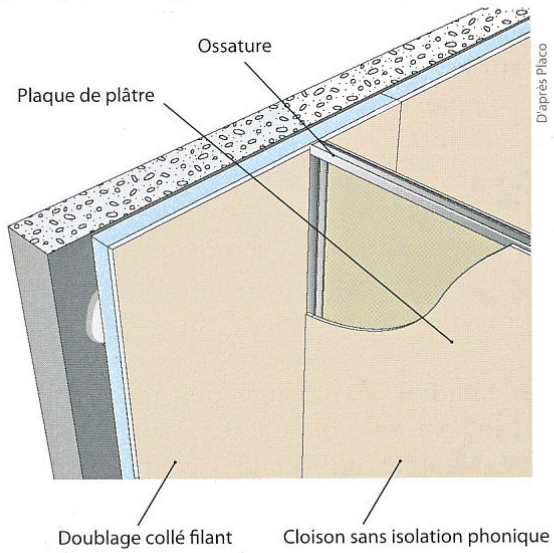


Une règle de 2 m à talon de 1 mm appliquée dans l'axe du joint ne doit pas être en porte-à-faux et faire apparaître un défaut de plus de 2 mm.

Raccords avec cloisons

Sans contraintes phoniques

Avec un isolant alvéolaire et en l'absence de contraintes d'isolation phonique, le doublage est filant et la cloison rapportée.



Avec contraintes phoniques

Avec des contraintes d'isolation phonique, le doublage est installé après le montage des cloisons.

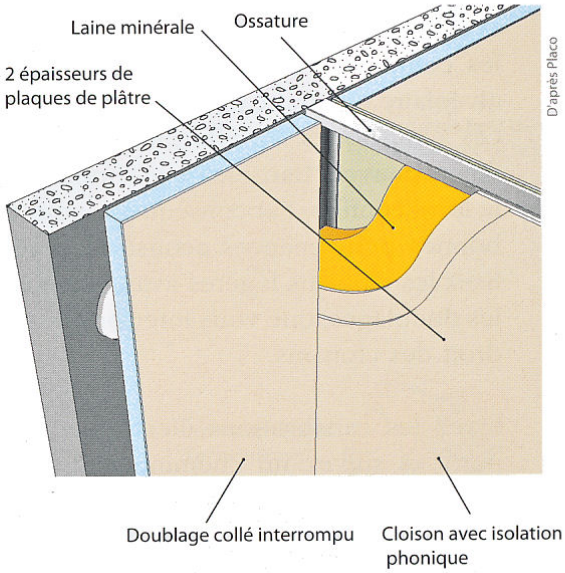


Figure 210 : Autres points singuliers du collage de doublages

complexes à base d'isolant alvéolaire ou 3 m pour les laines minérales, il faut créer un support intermédiaire. Pour ce faire, fixez une lisse horizontale au raccord droit entre les deux complexes. La fixation des panneaux dans la lisse doit être mécanique afin de renforcer la stabilité du doublage.

Dans le cas d'un plafond rapporté isolant, entre le volume habitable et les combles ou un local non chauffé, commencez par vérifier qu'il assure correctement l'étanchéité à l'air du plancher. Pour cela, réalisez un joint composé d'une bande de papier et d'enduit comme indiqué à la figure 210. Dans le cas d'une isolation acoustique, vous pouvez aussi poser un cordon de mastic acrylique souple. Pour renforcer l'étanchéité du complexe avec le plafond, posez une bande de papier, noyée dans de l'enduit. Ainsi, l'étanchéité de la lame d'air située derrière le complexe sera parfaite.

Vous devez également veiller à respecter certaines dispositions pour les jonctions avec les cloisons légères, notamment si les complexes ont un isolant plastique alvéolaire non traité pour des performances acoustiques. En effet, les doublages filants peuvent transmettre les bruits dans le local contigu. Par conséquent, pour de bonnes performances acoustiques, réalisez les cloisons légères avant de poser les doublages, que vous interromprez au droit des cloisons.

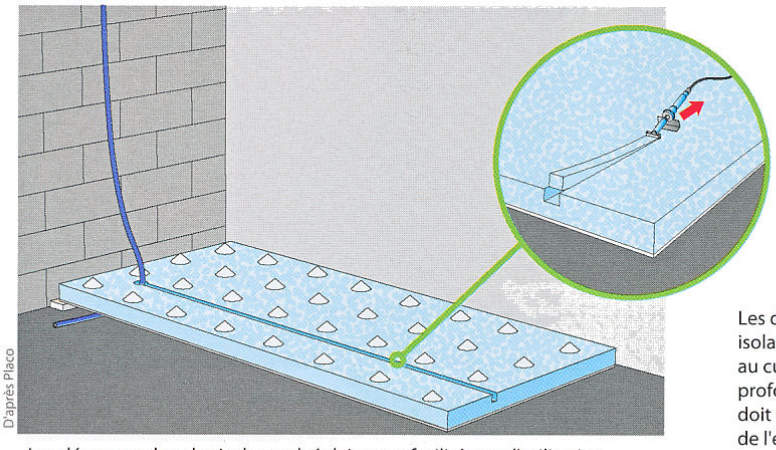
Fixez les canalisations électriques à la paroi et suivez un cheminement vertical. Vous pouvez découper l'isolant du complexe (figure 211) pour permettre le passage d'une gaine, cependant veillez à ne pas créer une entaille d'une profondeur supérieure au tiers de l'épaisseur de l'isolant. À cet effet, vous pouvez utiliser un appareil chauffant, le thermocutter pour les isolants plastiques comme les polystyrènes ou les polyuréthanes. Pour les isolants fibreux, servez-vous d'une scie ou d'un cutter. Pour le percement du boîtier électrique, employez une scie cloche montée sur perceuse.
Une fois la plaque préparée, présentez-la à son emplacement. Passez la gaine par le percement du boîtier, puis tirez-la en faisant basculer la plaque, pour qu'elle prenne place dans la rainure. Ensuite, collez la plaque contre la paroi en la faisant reposer sur des cales au sol (figure 212). Pour ne pas provoquer de pont thermique, garnissez d'isolant le fond du percement du boîtier. Cela est particulièrement important si le complexe a été traversé. Si tel n'est pas le cas, réalisez un percement supérieur de 10 mm à la profondeur du boîtier.

Malheureusement, il persistera un pont de vapeur à cet endroit, avec les risques de condensation interne associés. Utilisez de préférence des boîtes d'encastrement étanches (figure 213), limitez leur nombre sur les parois extérieures ou utilisez des complexes rainurés (voir le paragraphe suivant).
Après la pose des complexes, il est interdit de réaliser des saignées dans les plaques de plâtre. Vous effectuerez les raccordements seulement après les finitions des doublages.

Pour faciliter le passage des réseaux électriques ou de plomberie, vous pouvez également utiliser des complexes rainurés en usine. Ils sont pourvus de rainures parallèles au pas de 240 mm, soit 5 rainures de 40 mm de profondeur par panneau, sur toute la hauteur. Les rainures sont situées entre la plaque de

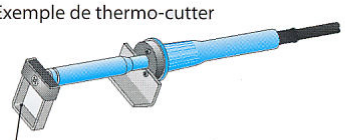
Complexes collés et installation électrique

Préparation des complexes isolants

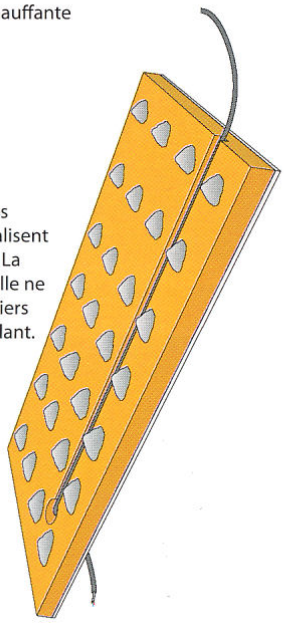


Les découpes dans les isolants alvéolaires est facilitée par l'utilisation d'un cutter chauffant.

Exemple de thermo-cutter

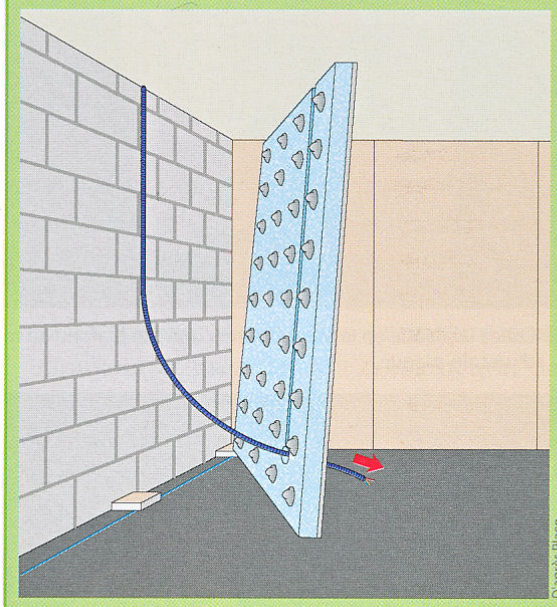


Panne chauffante

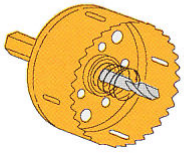


Les découpes dans les isolants fibreux se réalisent au cutter ou à la scie. La profondeur de l'entaille ne doit pas dépasser le tiers de l'épaisseur de l'isolant.

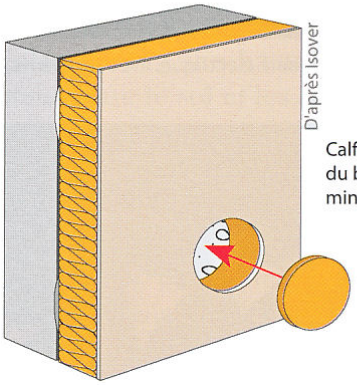
Mise en place des plaques



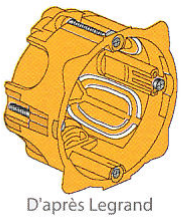
Passez l'extrémité de la gaine dans le trou du boîtier électrique et tirez-la en avançant le complexe vers le mur.
Posez la plaque sur les cales et faites pivoter le complexe contre le mur en tirant sur la gaine pour vérifier qu'elle se place correctement dans la rainure.
Plaquez le complexe contre le mur à l'aide d'une règle comme nous l'avons vu précédemment.



Utilisez une scie-cloche pour percer le logement du boîtier d'encastrement électrique. Son diamètre doit être adapté à celui des boîtiers (ø 65 ou 67 mm).



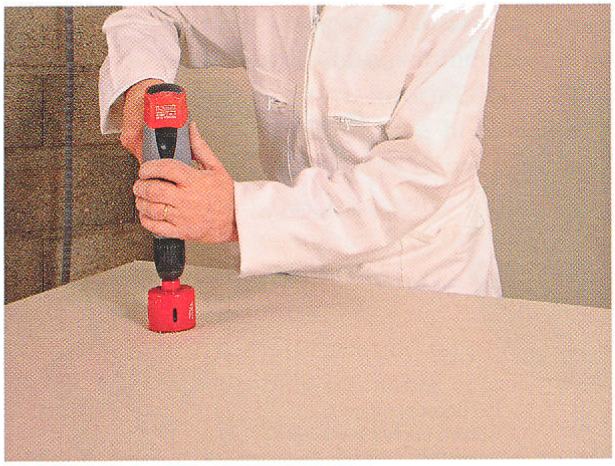
Calfeutrez le fond du trou du boîtier avec de la laine minérale.



Utilisez des boîtes d'encastrement spéciales pour cloisons sèches.

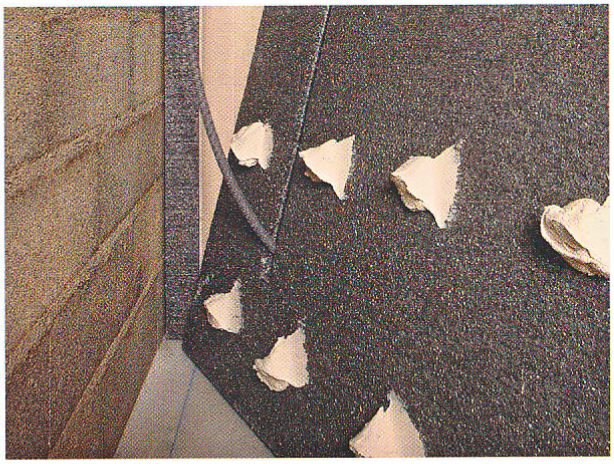
D'après Legrand

Figure 211 : Les doublages collés et l'installation électrique



1 Percez le trou du boîtier au moyen d'une scie cloche.

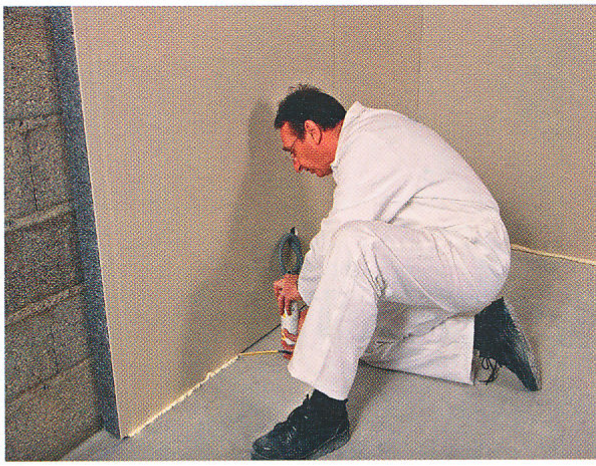
2 Réalisez la rainure pour la gaine électrique, avec un thermo-cutter.



3 Mettez en place la plaque en passant la gaine par le trou du boîtier.

4 Guidez la gaine dans la rainure.

5 Collez la plaque en la faisant buter contre le plafond au moye d'un cale-plaque.



6 Après séchage, calfeutrez la base du complexe au moyen de mousse expansive.

© Placo

Figure 212 : La pose des gaines électriques avec un doublage

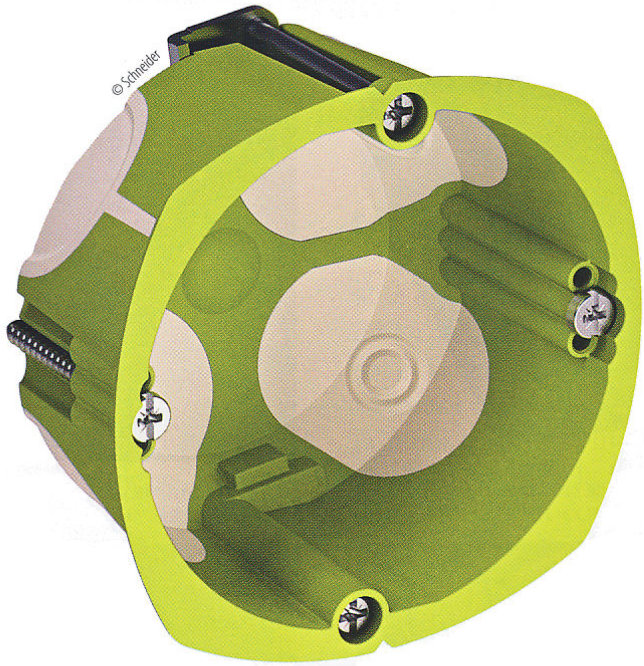


Figure 213 : Exemple de boîte d'encastrement étanche

plâtre et l'isolant (figure 214). L'épaisseur minimale d'isolant (polystyrène expansé graphité) de ces panneaux est de 80 mm. L'avantage de faire passer les réseaux de cette façon dans les complexes est le renforcement de l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau. Ces panneaux sont souvent utilisés dans la construction de maisons individuelles avec des systèmes de pieuvres électriques et des distributions hydrocablées pour les fluides. Ils permettent de diminuer le temps de mise en œuvre. Cependant, notez que l'ordre d'intervention sur le chantier est changé : on installe d'abord les doublages, puis on réalise le plafond rapporté isolant et enfin les cloisons.

Les complexes assurent ainsi une isolation thermique continue, jusque dans le plénum du faux-plafond. La pose s'effectue uniquement par collage. Comme pour les complexes traditionnels, pour des murs extérieurs anciens ou en zone très froide, utilisez des plaques avec pare-vapeur classé P3. Les complexes sont commercialisés avec des plaques de plâtre normales ou hydrofuges.
La pose est différente de celle des complexes traditionnels. Il faut découper les plaques sur une hauteur égale à la hauteur entre le sol et les solives, ou les fermettes, moins 2 cm. Si le plafond est en hourdis ou en béton, retranchez un centimètre seulement. Si le sol est fini, faites reposer la plaque sur le sol en intercalant au préalable une bande de mousse PE, puis réalisez un joint souple entre la plaque et le sol. Si le sol est brut et les locaux humides, posez les complexes sur une bande de mousse et respectez les dispositions complémentaires de protection qui s'imposent, comme pour les complexes traditionnels (voir les paragraphes suivants).

Sur les murs, la mise en œuvre des complexes rainurés s'effectue de la même

1 Sur le chantier, respectez les règles de stockage des complexes rainurés.

2 Collez normalement les complexes sur les murs.

3 Après séchage du mortier, préparez les gaines électriques.

4 Pour faciliter le passage des gaines dans les caniveaux, utilise une aiguille.

5 Passez les gaines électriques dans les rainures.

6 Obturez les orifices supérieurs des complexes.

© Placo

Figure 214 : La pose des complexes rainurés

manière que les autres. Veillez toutefois à assurer l'étanchéité à l'air des bords supérieurs en réalisant un cordon continu de mortier adhésif. Vous pouvez ensuite installer l'ossature métallique du plafond rapporté et passer les canalisations des réseaux domestiques dans les réservations. Les trous que vous avez percés au préalable à la scie cloche permettent de les faire ressortir aux endroits appropriés. Pour les boîtes d'encastrement électrique, il n'y a pas de règles de pose particulières. Calfeutrez les percements avec de la mousse de polyuréthane ou avec du mortier adhésif. Vous pourrez ensuite réaliser les joints entre les plaques.
Afin d'assurer l'étanchéité des caniveaux, il est nécessaire également d'obturer les orifices situés en haut des plaques, au moyen de bandes de plaque de plâtre et de mortier adhésif. Procédez ensuite à la pose de l'isolant sur la structure du plafond, puis des plaques de plâtre pour habiller la sous-face.

Si vous mettez en œuvre des doublages traditionnels, vous pouvez retirer les cales placées sous les complexes après le séchage du mortier adhésif. Le pied du doublage doit être comblé afin d'assurer l'étanchéité à l'air.

Si le sol est fini ou en cas de revêtement de sol mince, comblez l'espace entre le sol et le bord inférieur du doublage en le bourrant avec de la laine minérale ou de la mousse de polyuréthane (figures 215 et 216). Préférez la laine minérale si les complexes sont composés de cet isolant et la mousse de polyuréthanne dans le cas des isolants alvéolaires. Si l'isolant est fibreux, il est judicieux de parfaire l'étanchéité en réalisant en plus un joint de mastic acrylique souple.
Si le sol est brut, plusieurs solutions de mise en œuvre sont possibles. Si vous utilisez des complexes à base d'isolants en plastique alvéolaire, vous pouvez découper la plaque de plâtre des complexes sur

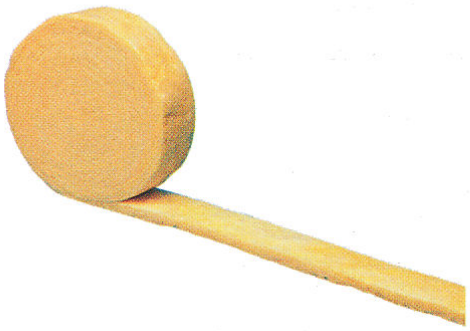
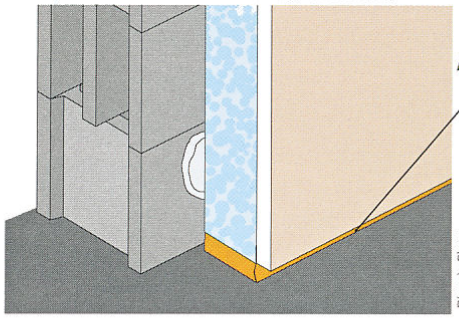


Figure 215 :
Le calfeutrement du bord inférieur des complexes

Complexes collés (traitement en partie basse)

Sur sol fini

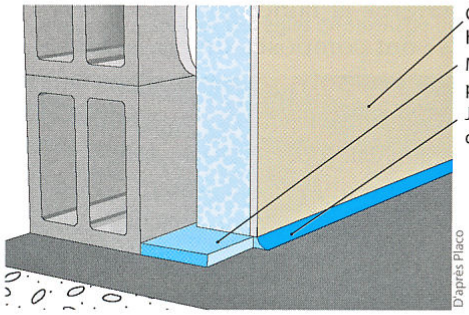
Complexe avec isolant alvéolaire (pièce sèche)



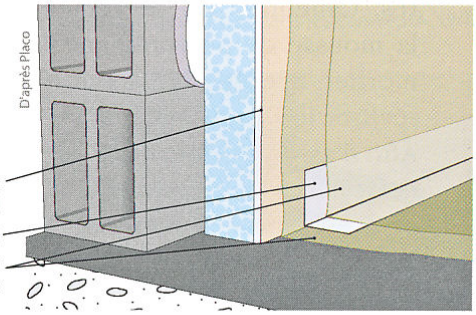
Après séchage du mortier adhésif et avoir retiré les cales.

Complexe avec laine minérale (pièce sèche)

Complexe avec isolant alvéolaire (pièce humide* 1)

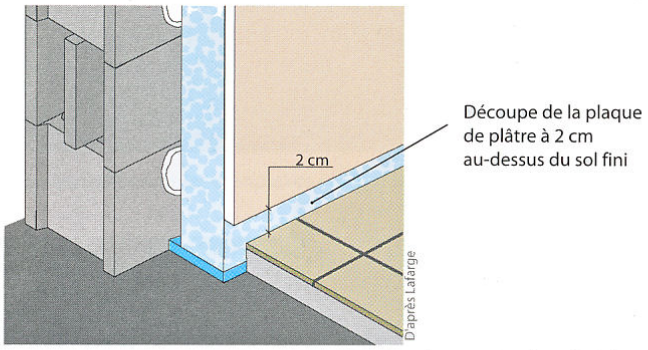


Complexe avec isolant alvéolaire (pièce humide* 2)

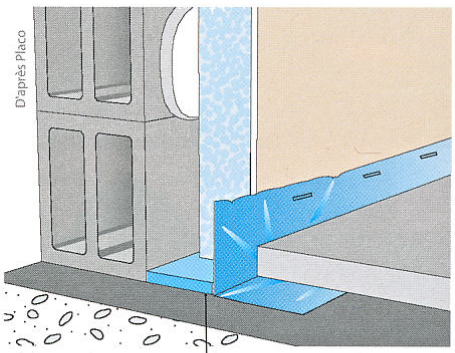


Sur sol brut

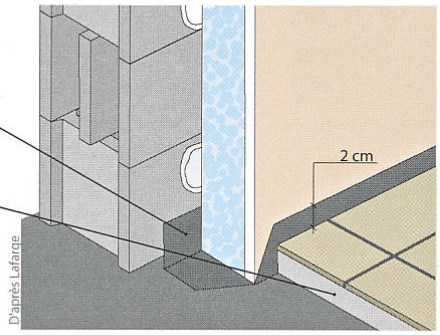
Complexe avec isolant alvéolaire (solution 1)



Complexe avec isolant alvéolaire ou fibreux (solution 2)



Complexe avec isolant alvéolaire (solution 3)



Film polyéthylène de 100 microns agrafé sur la plaque de plâtre du complexe avec retour sous la chape. Mise en place avant le coulage de la chape sur une hauteur supérieure de 20 mm à celle du sol fini. Le film est ensuite arasé au niveau du sol ou dissimulé derrière la plinthe. En locaux humides (EB, EB+ privatifs), utilisez des complexes hydrofuges et réalisez un joint d'étanchéité entre la plaque et le sol.

* Locaux classés EB ou EB+ privatifs

Figure 216 : Le traitement des rives basses des complexes

une hauteur correspondant à celle du sol fini, majorée de deux centimètres. Réalisez l'étanchéité en bas des plaques en injectant de la mousse de polyuréthane. Réalisez ensuite les chapes.

Si le complexe possède un isolant fibreux, calfeutrez les bas de plaque avec le même isolant, puis réalisez un joint de mastic souple entre la plaque de plâtre et le sol. Placez ensuite une feuille de polyéthylène en bas des complexes, en la faisant remonter jusqu'à 2 cm au-dessus de la hauteur du futur sol fini et avec un retour sous la future chape. Vous pouvez agrafer le film sur les plaques de plâtre, il sera masqué par les plinthes. Procédez ensuite à la réalisation des chapes.

Dans les pièces humides, comme la salle de bains, le garage ou le cellier non chauffé, utilisez des complexes avec plaque de plâtre hydrofuge. Si le sol est déjà fini, calfeutrez, puis réalisez systématiquement un joint souple d'étanchéité, entre la plaque de plâtre et le sol. Si le sol est brut, utilisez toujours un complexe avec plaque de plâtre hydrofuge et respectez les mêmes dispositions que précédemment.
Dans le cas d'une pièce qui change de destination, par exemple pour devenir une pièce humide, il convient de recouvrir les complexes classiques et le sol de deux couches de produit d'étanchéité liquide. Marouflez une bande d'étanchéité à la jonction entre le complexe et le sol.

En ce qui concerne le traitement des angles, rentrants ou saillants, il n'y a pas de contraintes particulières, si ce n'est le respect de la continuité de l'isolant et de la plaque de plâtre (figure 217).
Dans un angle rentrant, les deux complexes doivent se chevaucher. Les bords des plaques ne doivent pas s'arrêter juste à leur intersection. Vous pouvez également découper la plaque de plâtre sur l'épaisseur du complexe en retour. Un pont thermique ponctuel est créé par la plaque de plâtre, cependant il n'est pas très important. Le dernier complexe d'une série avant l'angle du mur nécessite souvent d'être recoupé. N'oubliez pas dans ce cas de respecter un écart de 10 mm minimum entre le mur et le bord du complexe.

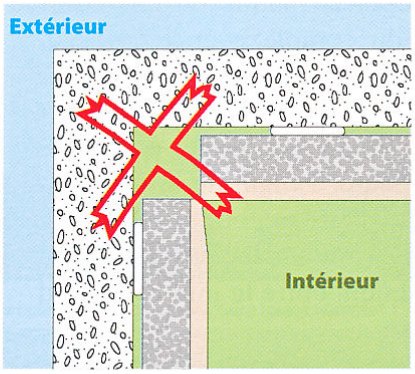
Dans un angle saillant, il est impératif de découper une portion d'isolant de l'un des deux complexes, sur une épaisseur correspondant à l'épaisseur totale d'un complexe, afin que les deux panneaux s'imbriquent parfaitement, parement contre parement. Utilisez du mortier adhésif pour coller les deux complexes entre eux au niveau de l'angle. Pour protéger l'angle contre les chocs, posez une bande de papier armée ou une cornière métallique ou plastique, marouflée dans de l'enduit.

Si le plafond est rapporté non isolé, n'oubliez pas de poser les complexes jusque dans le plénum, en prolongement du doublage de l'étage supérieur. Réalisez le plafond après les doublages.
Réalisez ensuite les finitions : joints entre les plaques, revêtement et plinthes, comme indiqué à partir de la page 414.

Lorsque le collage n'est pas possible (mur en mauvais état, irrégularités supérieures à 15 mm...), il convient de mettre en œuvre les complexes sur une ossature bois (figure 218). L'épaisseur maximale de l'isolant est alors de 80 mm. Cette méthode de pose s'applique également aux charpentes et aux constructions

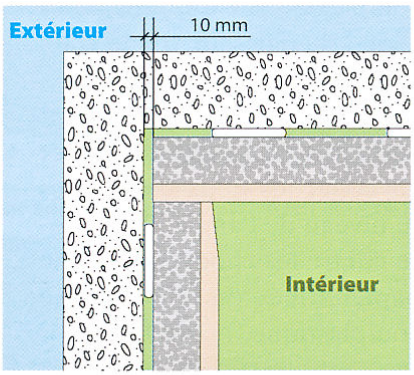
Complexes collés (traitement des angles)

Angle sortant



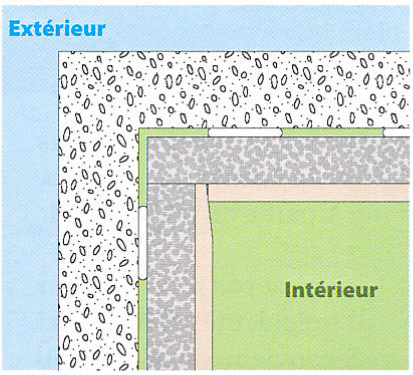
Création de ponts thermiques

Solution 1



Pose jointive et en recouvrement des complexes isolants. L'angle est ensuite recouvert avec une bande de joint.

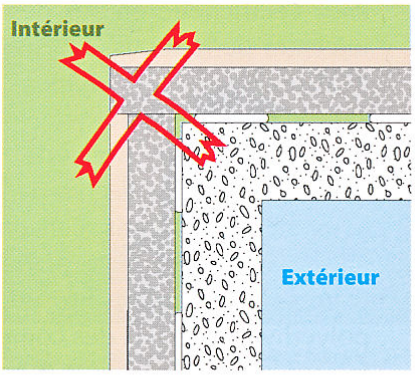
Solution 2



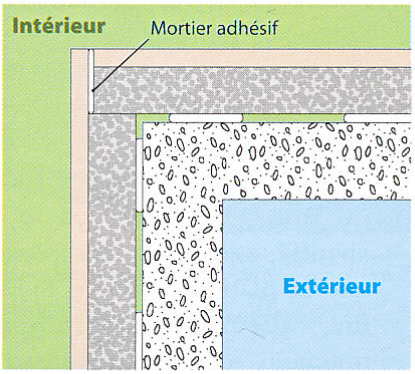
Découpe de la plaque de plâtre pour obtenir un contact isolant sur isolant. L'angle est ensuite recouvert avec une bande de joint.

Angle saillant

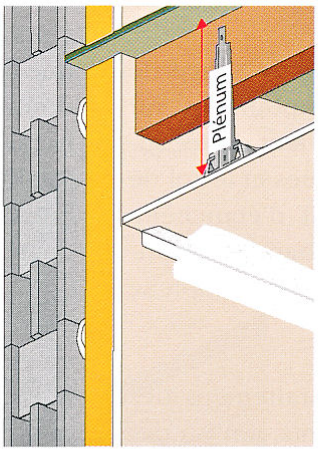
Difficultés pour l'habillage de l'angle



L'isolant est retiré sur la hauteur de l'un des complexes. L'angle est ensuite recouvert avec une bande de joint renforcée.

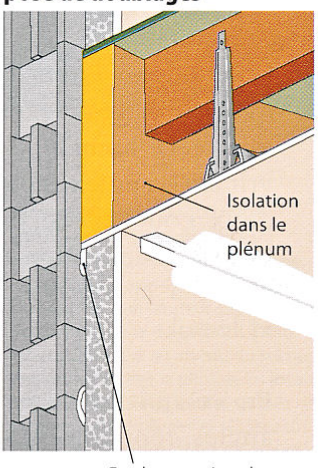


Faux-plafond décoratif



Le complexe isolant est prolongé dans le plénum.

Faux-plafond réalisé avant la pose de doublages

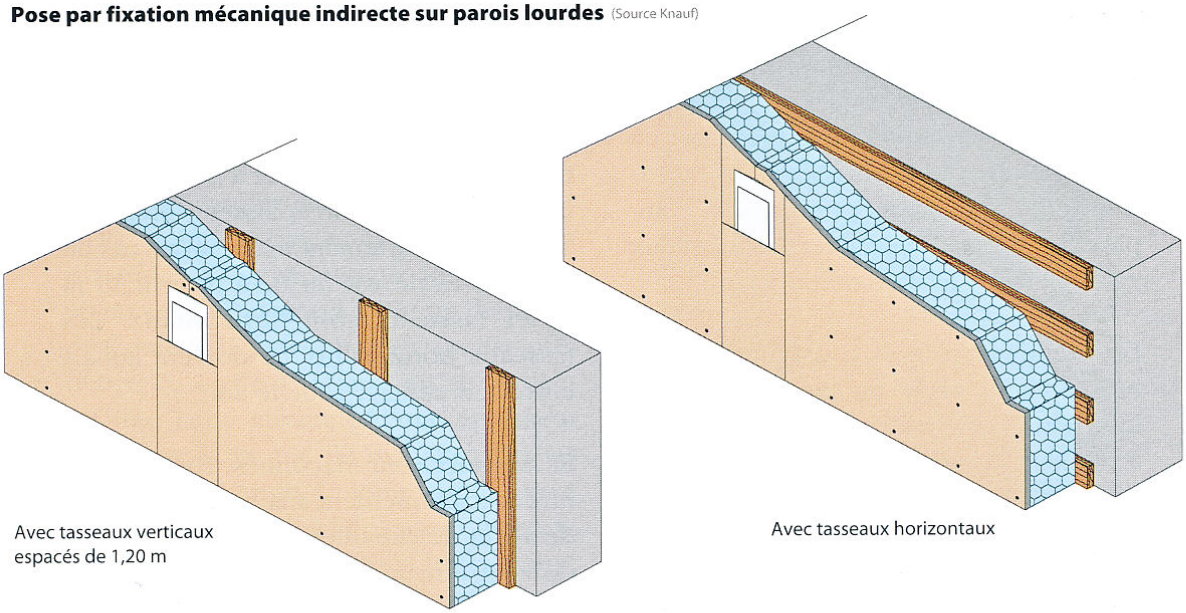


Cordon continu de mortier adhésif

Figure 217 : La réalisation des angles des doublages

Pose de complexes avec fixation mécanique

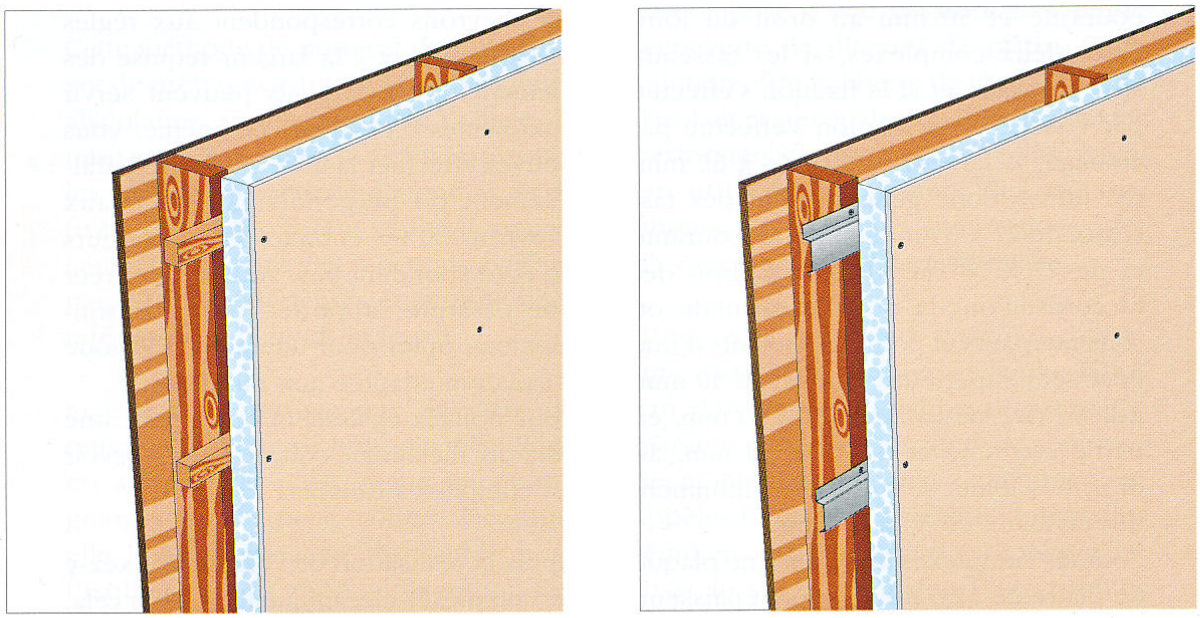
Pose par fixation mécanique indirecte sur parois lourdes (Source Knauf)



Avec tasseaux verticaux espacés de 1,20 m

Avec tasseaux horizontaux

Pose par fixation mécanique indirecte sur ossature bois (Source Placo)



Avec tasseaux bois horizontaux

Avec profilés métalliques horizontaux

Figure 218 : La fixation mécanique des doublages

à ossature bois. L'ossature permet de corriger les différences de niveau et les irrégularités, en plaçant des cales, le cas échéant. Il faut régler l'ossature horizontalement et verticalement sur la paroi support. L'opération s'effectue donc en deux étapes : mise en œuvre de l'ossature, puis fixation mécanique des complexes. Vous pouvez fixer les tasseaux verticalement ou horizontalement.

Les éléments en bois constituant l'ossature doivent avoir un taux d'humidité inférieur à 18 % et être protégés par un traitement fongicide et insecticide. Les essences recommandées sont le peuplier, le douglas, le sapin, le pin maritime, l'épicéa ou le pin sylvestre. Elles doivent appartenir à la catégorie III de la norme « NF B 52-001 », au minimum. Les éléments de l'ossature doivent assurer une largeur d'appui suffisante pour les complexes, soit 35 mm en partie courante et 50 mm au droit du joint entre deux complexes, si les tasseaux sont verticaux et si la fixation s'effectue par vissage. Si la fixation s'effectue par clouage, la largeur est portée à 60 mm. On utilise donc généralement des tasseaux de 27 x 35 mm en partie courante et de 27 x 50 ou 60 mm au droit des raccords. Pour la pose horizontale ou sous rampants et pour des isolants d'une épaisseur supérieure ou égale à 50 mm, utilisez des tasseaux de 27 x 50 mm, en partie courante et de 27 x 60 mm, au droit des joints. On utilise couramment des tasseaux de 30 x 60 mm.
Pour les complexes intégrant une plaque de plâtre de 12,5 ou 15 mm d'épaisseur, respectez un entraxe de 0,60 m pour les tasseaux verticaux ou de 0,40 m si les tasseaux sont horizontaux.
Pour les plaques de plâtre de 9,5 mm d'épaisseur, les dispositions sont plus sévères. Si l'isolant est en plastique alvéolaire et d'une épaisseur comprise entre 30 et 80 mm, l'entraxe des tasseaux verticaux est au maximum de 0,60 m ou de 0,40 m si l'ossature est horizontale.
Si l'isolant est en plastique alvéolaire et d'une épaisseur inférieure à 30 mm ou en laine minérale d'une épaisseur inférieure à 80 mm, l'écartement maximal en cas de pose verticale est de 0,50 m et 0,30 m si les tasseaux sont horizontaux. Les tasseaux horizontaux ne doivent jamais entrer en contact avec le sol.

Si les murs sont maçonnés, fixez l'ossature mécaniquement à la paroi au moyen de vis et de chevilles. Les vis de fixation doivent être placées à 10 mm au minimum des bords des tasseaux et espacées d'environ 30 cm. L'ossature ne doit pas présenter de défauts de planéité supérieurs à 5 mm sous une règle de 2 m.
Dans le cas d'une pose sous rampant, si les chevrons correspondent aux règles d'écartement et à la largeur requise des éléments d'ossature, ils peuvent servir eux-mêmes d'ossature. De même, vous pouvez effectuer la mise en œuvre parallèlement ou perpendiculairement aux chevrons. Si les entraxes et les largeurs ne correspondent pas, vous devez créer une ossature rapportée ou, plus simplement, opter pour une autre méthode d'isolation adaptée aux rampants.
Vous pouvez également opter pour une ossature métallique conçue pour recevoir les complexes isolants.

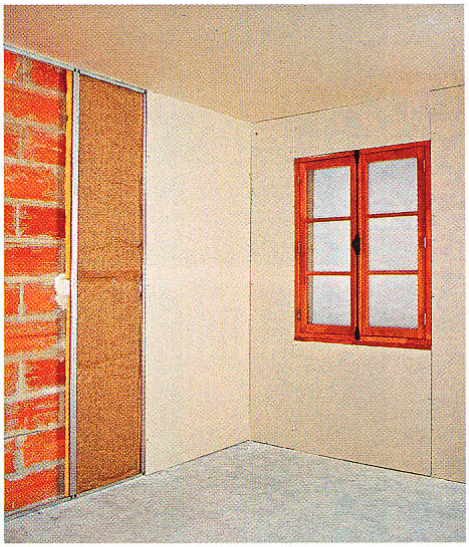
Après la réalisation de l'ossature, fixez-y les complexes mécaniquement. Pour cela, plusieurs méthodes sont possibles. Vous pouvez utiliser le clouage, si les complexes possèdent un isolant en plastique alvéolaire d'une épaisseur inférieure ou égale à 30 mm. Choisissez des clous en

acier galvanisé de 2,7 mm de diamètre lisses, crantés ou torsadés et avec une tête fraisée de 6,5 mm. La longueur des clous à choisir correspond à l'épaisseur du complexe majorée de 30 mm.
Vous pouvez opter également pour la fixation par vissage. Dans ce cas, choisissez de préférence des vis de type TTPC. Pour les complexes avec un isolant plastique d'une épaisseur inférieure à 50 mm, les vis doivent avoir un diamètre de 8 mm. Si l'épaisseur d'isolant est inférieure ou égale à 80 mm ou si l'isolant est une laine minérale d'une épaisseur inférieure à 80 mm, le diamètre des vis doit être de 12 mm. La longueur des vis à choisir correspond à l'épaisseur du complexe majorée de 30 mm si les tasseaux sont en bois ou 15 mm, si l'ossature est métallique. De plus, en cas d'isolant fibreux, utilisez des cales spéciales, à raison d'une fixation sur deux, afin de ne pas écraser le complexe.

Cette méthode de pose est donc à réserver de préférence aux isolants plastiques alvéolaires. Comme pour le collage, la mise en œuvre s'effectue en faisant buter les complexes contre le plafond avant de fixer. De même, il faut veiller à assurer l'étanchéité à l'air aux jonctions avec les menuiseries extérieures et entre le bord inférieur des plaques et le sol.

Si elle ne s'impose pas, la mise en œuvre sur ossature bois ou métallique est à éviter car plus longue et contraignante que la pose collée. De plus, elle limite l'épaisseur disponible pour l'isolant. Si les murs présentent des défauts trop importants pour le collage, il existe d'autres solutions plus évolutives, comme l'isolation derrière ossature métallique ou une contre-cloison (voir paragraphes suivants).

L'isolation derrière ossature métallique


© Placo

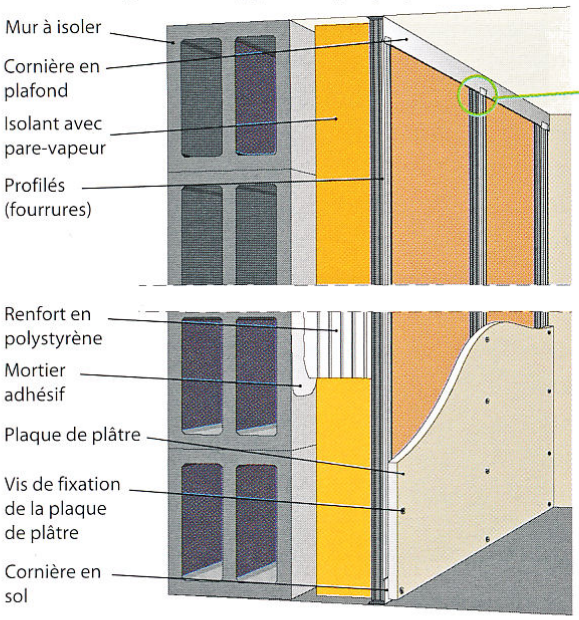
Cette technique de mise en œuvre consiste à poser un isolant intérieur sur un mur donnant sur l'extérieur en réalisant une contre-cloison légère. Celle-ci se compose d'une ossature métallique recouverte de plaques de plâtre. Cette solution offre la liberté de choisir le type d'isolant et son épaisseur, en fonction des performances thermiques recherchées. On utilise généralement des isolants fibreux, en panneaux semi-rigides, afin d'éviter les risques de tassement.

Il existe de nombreux systèmes d'ossature métallique propres à chaque fabricant d'isolant ou de plaques de plâtre. De manière générale, l'ossature se compose de montants verticaux, communément appelés fourrures, disposés à intervalles réguliers entre des profilés horizontaux fixés au sol et au plafond. Les profilés peuvent avoir plusieurs appellations comme lisses, rails, coulisses de rive ou être de simples cornières. Les éléments d'ossature sont en acier galvanisé. Deux grands principes coexistent : les

Le principe du doublage sur ossature métallique

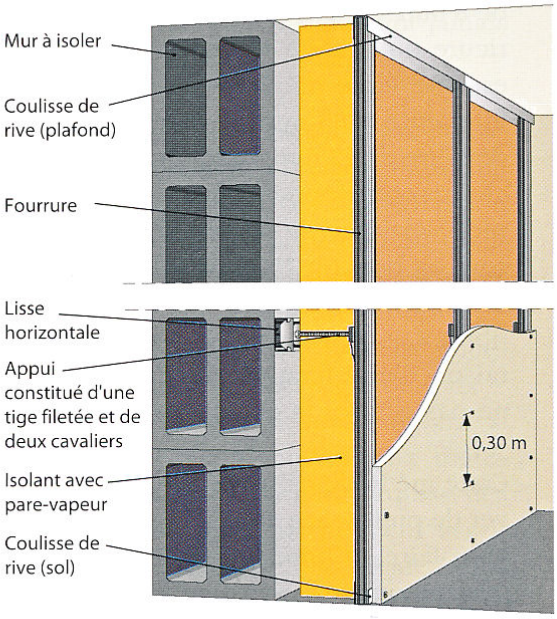
(D'après Placo, systèmes Placostil)

Ossature légère avec appuis en polystyrène (hauteur maximale : 2,60 m)

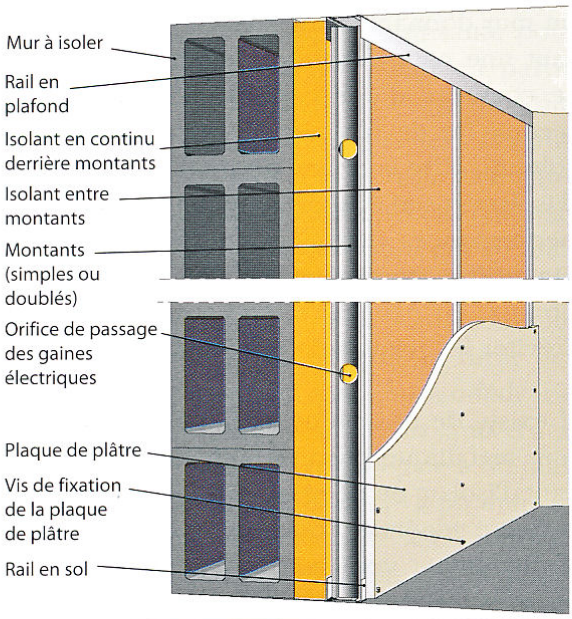


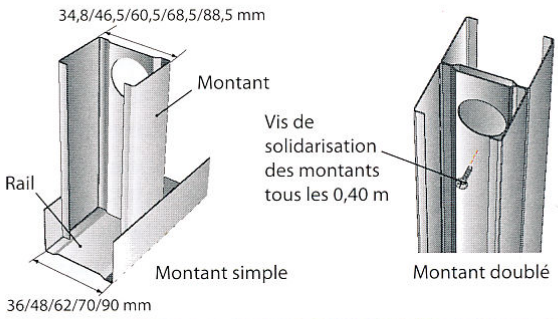
Les fourrures peuvent être maintenues dans les cornières à l'aide de clips métalliques en partie haute et basse (selon les fabricants).

Ossature légère avec appuis métalliques
(hauteur de 2,60 à 5,30 m)
Les hauteurs supérieures à 2,60 m doivent disposer de plusieurs rangées d'appuis réparties au pas de 1,25 m)



Ossature autoportante





Hauteur limite des ossatures autoportantes (profilés en tôle 6/10 mm)								
Type de rail	Profilé de 48 mm simple		Profilé de 48 mm doublé		Profilé de 70 mm simple		Profilé de 90 mm simple	
Montant	Entraxe 0,40 m	Entraxe 0,60 m	Entraxe 0,40 m	Entraxe 0,60 m	Entraxe 0,40 m	Entraxe 0,60 m	Entraxe 0,40 m	Entraxe 0,60 m
1 x BA 13	2,80 m	2,60 m	3,30 m	3,00 m	3,60 m	3,20 m	4,10 m	3,70 m
2 x BA 13	3,30 m	3,00 m	4,00 m	3,60 m	4,20 m	3,80 m	4,90 m	4,40 m

Figure 219 : Le principe de l'isolation derrière ossature métallique

ossatures autoportantes du sol au plafond et les ossatures à appuis intermédiaires (figure 219).
Le choix de l'une ou l'autre des solutions se fera selon plusieurs critères : la hauteur des murs à doubler, la possibilité ou non d'une fixation sur la paroi, l'emprise au sol de l'ossature et le prix de revient.

Les **ossatures autoportantes** comportent des rails horizontaux et des montants verticaux. La largeur possible des ossatures est de 48, 62, 70 ou 90 mm. Il s'agit du même type d'ossatures que celles utilisées pour la réalisation de cloisons séparatives. Les montants sont pourvus de percements permettant le passage des gaines électriques. Plusieurs combinaisons sont possibles pour intégrer l'isolant. L'isolation sera continue si vous placez l'isolant entre le mur et l'ossature. Cependant l'épaisseur de l'ossature ne comporte pas d'isolant, d'où la perte de place non négligeable.
L'autre possibilité consiste à placer l'ossature contre le mur, puis à installer les panneaux isolants entre les montants. Cette solution présente l'avantage de limiter la perte d'espace, toutefois on crée de nombreux ponts thermiques ponctuels au niveau des fourrures.
Enfin, la troisième solution, la plus intéressante, consiste à placer l'isolant en deux couches. La première est située entre le mur et l'ossature, la seconde, entre les montants de l'ossature. Ainsi, vous optimisez l'épaisseur des doublages en comblant d'isolant tout l'espace disponible. De plus, les ponts thermiques ponctuels sont diminués.
En ce qui concerne la hauteur, le maximum possible dépend de plusieurs critères : la taille des montants, du type de montants (simples ou doublés), de l'espacement entre les montants et du nombre de plaques de plâtre superposées. En effet, si l'on double les plaques de plâtre, la rigidité de la contre-cloison est plus grande, ce qui permet d'aller plus haut. La hauteur peut aussi être augmentée, éventuellement, par l'utilisation de pattes de scellement.
Prenons l'exemple de montants de 48 mm, les plus courants. Dans le cas de profilés simples, avec une plaque de plâtre BA 13 et un entraxe de 60 cm, la contre-cloison peut atteindre une hauteur sous plafond maximale de 2,60 m (DTU 25-41 *Ouvrages en plaques de parement en plâtre – Plaques à faces cartonnées*). Si l'on place deux épaisseurs de plaques de plâtre, la hauteur maximale passe à 3,00 m. Avec un entraxe de 0,40 m et une plaque de parement, on atteint 2,80 m. Avec deux épaisseurs de plaques, la hauteur maximale passe à 3,30 m.

Il est possible de doubler les profilés de 48 mm, en les vissant dos à dos. Dans ce cas, avec un entraxe de 0,60 m et une plaque de plâtre de parement, la hauteur maximale est de 3,00 m. Pour atteindre 4,00 m, il faut doubler les plaques de plâtre et adopter un pas de 0,40 m. Il est même possible d'atteindre une hauteur de 7,50 m, en ajoutant des pattes de scellement. Cependant, cette solution revient à appliquer la technique avec appuis intermédiaires, moins onéreuse, détaillée au paragraphe suivant.
Dans un souci d'économie, vous pouvez abouter les profilés simples. Pour cela, utilisez des chutes de montant, de 30 cm au minimum, que vous solidariserez avec les montants à joindre par vissage. Celui-ci s'effectue sur les deux ailes du profilé avec 8 vis autoperceuses. Prenez soin de décaler les aboutages d'une rangée sur l'autre.

En maison individuelle, on utilise principalement la technique des ossatures avec appuis intermédiaires. Dans ce cas, la réalisation des cloisons légères s'effectue au moyen d'ossatures autoportantes (voir plus loin, notamment les points particuliers de mise en œuvre).

Les **systèmes avec appuis intermédiaires** comprennent des fourrures en forme de U, d'une section comprise entre 45 et 47 mm de largeur environ pour une épaisseur de 17 ou 18 mm. La face la plus large sert de support de vissage pour les plaques de plâtre. Le schéma de l'ossature est similaire aux structures autoportantes. Deux profilés horizontaux sont installés au sol et au plafond, avec des fourrures intermédiaires dont l'entraxe est de 0,60 ou 0,40 m. Selon les systèmes proposés par les fabricants, les lisses horizontales peuvent être de simples cornières ou des profilés en U. La solidarisation des fourrures avec les lisses peut différer d'un système à l'autre. Dans le cas de cornières, on utilise des clips métalliques ou des vis autoperceuses à tête trompette. Dans les lisses en U, un profil spécial permet d'exercer une pression comme un ressort pour coincer la fourrure. Dans tous les cas, dans un souci de compatibilité des éléments entre eux et pour la solidité de l'ossature, n'utilisez que les produits d'un même fabricant.
Les appuis intermédiaires permettent de renforcer la structure. Selon les systèmes et le nombre d'épaisseurs de plaques de plâtre, la hauteur des lignes d'appui par rapport au sol est comprise entre entre 1,25 et 1,60 m. Le doublement des épaisseurs de plaques autorise des hauteurs plus grandes. Néanmoins, en maison individuelle, une seule couche de plaques de plâtre est suffisante.
La figure 220 présente quelques uns des systèmes d'appuis parmi ceux disponibles dans le commerce. Il en existe d'autres, cependant leur présentation serait longue et de peu d'intérêt puisque le principe est le même dans la majorité des cas.

Le premier système a recours à des appuis en polystyrène haute densité. Il est indiqué pour des hauteurs sous plafond jusqu'à 2,60 m. Les appuis permettent d'incorporer un isolant de 45 à 130 mm d'épaisseur. Il suffit de les découper à la profondeur choisie, puis de les glisser grâce aux rainures latérales, dans les fourrures. Installez ensuite les fourrures entre les lisses hautes et basses en veillant à respecter un jeu de 10 à 15 mm entre les appuis et les murs. Vous devez aligner les appuis selon une ligne horizontale située à 1,25 m du sol et les sceller sur le mur au moyen de mortier adhésif. Vérifiez et corrigez éventuellement l'aplomb et l'alignement de l'ossature. Laissez le mortier adhésif sécher complètement avant de placer l'isolant.

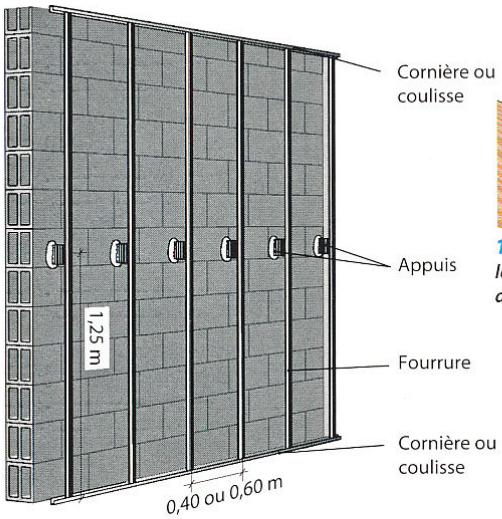
Ce système est particulièrement intéressant pour les murs anciens très irréguliers. En revanche, la hauteur est limitée et la mise en place de l'isolant plus délicate, puisqu'elle s'effectue sur une ossature déjà montée.
Les fourrures ont un entraxe de 0,60 m dans la plupart des cas et de 0,40 m dans les pièces humides, là où les parois sont destinées à recevoir un carrelage.

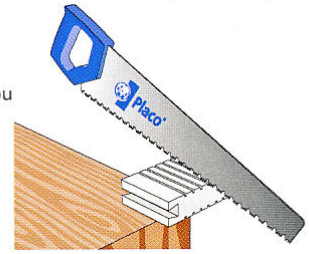
Il existe une autre solution qui consiste à placer les appuis sur une fourrure horizontale faisant office de lisse, sur laquelle sont clipsés des cavaliers. Ceux-ci sont équipés d'une tige filetée d'un côté et d'un cavalier spécial avec

Les systèmes d'appuis pour doublages avec ossature métallique (1/3)

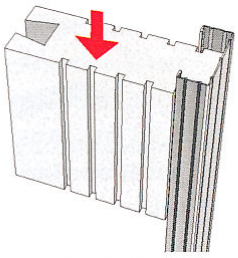
(D'après Placo®, systèmes Placostil®)

Appuis en polystyrène

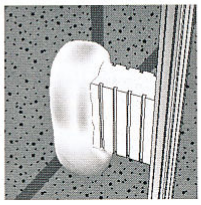




1 - *Découpez les appuis au niveau de la rainure correspondant à l'épaisseur de l'isolant.*

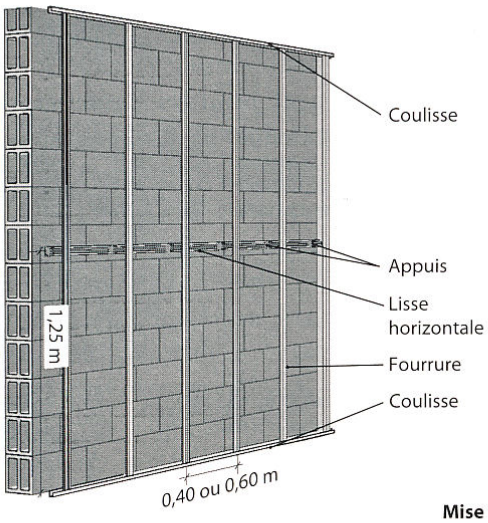


2 - *Glissez-les dans les fourrures avant leur mise en place.*

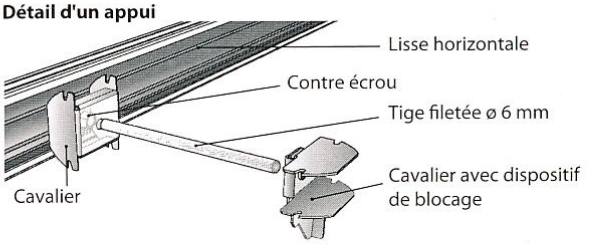


3 - *Les appuis sont ensuite scellés au mortier adhésif pour complexe isolant. Attendez le séchage du mortier avant de placer l'isolant.*

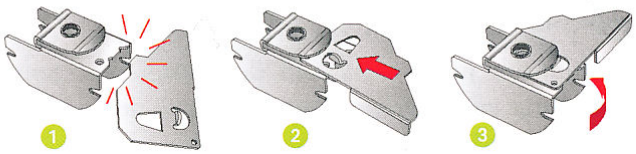
Appuis métalliques



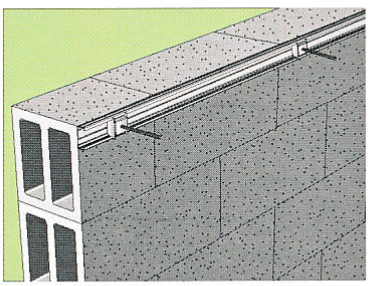
Détail d'un appui



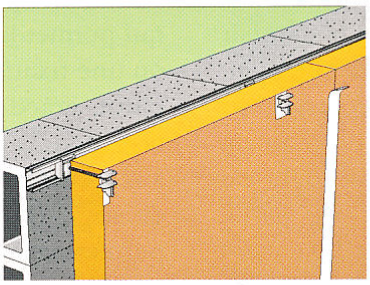
Mise en place du dispositif de blocage



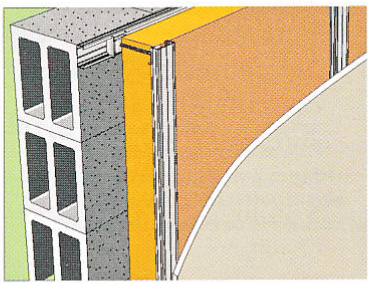
Mise en œuvre des appuis



1 - *Fixez la lisse horizontale sur le mur. Clipsez les cavaliers équipés de la tige filetée tous les 60 cm.*



2 - *Embrochez les panneaux de laine minérale bord à bord sur les tiges filetées. Assurez la continuité du pare-vapeur.*



3 - *Bloquez les cavaliers sans compresser l'isolant. Emboîtez les fourures dans les coulisses et clipsez-les sur les cavaliers.*

Figure 220 : Les systèmes d'appuis pour les doublages sur ossatures métalliques (1/3)

dispositif de blocage, à l'autre extrémité, permettant de solidariser les fourrures. Le positionnement des appuis est aisé, car ils peuvent coulisser le long de la lisse fixée au mur, soit à une hauteur de 1,25 m, dans les locaux d'habitation. Il suffit ensuite d'embrocher les panneaux d'isolant sur les tiges filetées, puis de visser les cavaliers réglables, sur lesquels vous emboîterez les fourrures. Grâce à ces cavaliers, le réglage de l'aplomb et de l'alignement de l'ossature est très précis. Lorsque l'ossature est réglée, bloquez les cavaliers. La tige filetée autorise jusqu'à 100 mm d'épaisseur d'isolant. L'espacement des fourrures est toujours de 0,60 m dans les cas classiques et de 0,40 m dans les pièces humides, où les parois sont destinées à recevoir un carrelage.

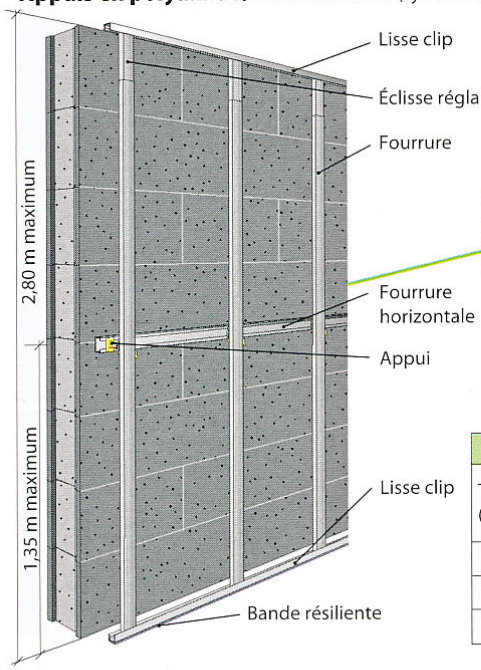
Dans les logements, la ligne d'appui est située à 1,25 m du sol. Dans les locaux non destinés à l'habitation et susceptibles de recevoir des chocs importants, disposez une première rangée d'appuis à 0,60 m du sol, puis avec un intervalle de 1,25 m. Ce type d'ossature permet d'atteindre jusqu'à 5,30 m de hauteur, avec une seule épaisseur de plaque de plâtre en parement. Si vous optez pour deux couches de plaques de plâtre, vous pouvez adopter un entraxe de 1,60 m seulement entre les lignes d'appui.
Naturellement, il convient de choisir des fourrures adaptées. Généralement, on utilise des fourrures de longueur suffisante, éventuellement recoupées. Les longueurs courantes sont 3,00 ou 5,30 m.

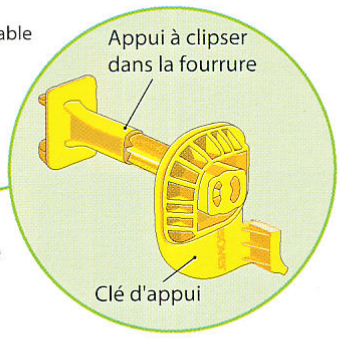
Une autre méthode reprenant le principe de la lisse horizontale à 1,35 m du sol au maximum, est encore possible. Il s'agit de placer les appuis, en utilisant des éléments en polyamide et fibre de verre (figure 221). Ils présentent l'avantage de ne pas créer de ponts thermiques ponctuels à cause des pièces métalliques, contrairement à la solution précédente. À part cette différence, la mise en œuvre reste la même. L'épaisseur d'isolant possible est comprise entre 95 et 145 mm. Embrochez-le sur les tiges des appuis et maintenez-le avec la clé. La tête d'appui permet le réglage rapide de l'ossature, puisque l'axe de la tige est cranté seulement à moitié. Dans une position, la clé coulisse librement sur la tige de l'appui et se bloque si vous la tournez d'un quart de tour. Il n'est pas nécessaire de visser ou dévisser. Prenez soin néanmoins de ne pas compresser l'isolant. Les fourrures sont maintenues grâce à une rainure dans la tête de la clé d'appui. Le réglage de l'ossature est donc simple et précis. Ce système est adapté pour les hauteurs sous plafond jusqu'à 2,80 m. Il nécessite des fourrures spéciales sur lesquelles on peut adapter des coulisses. Les fourrures sont disponibles dans une longueur de 2,40 m. En ajoutant une coulisse de 30 cm, vous pouvez atteindre une hauteur sous plafond de 2,60 m, et jusqu'à 2,80 m avec une coulisse de 0,50 m.

En rénovation, une autre version de ce système est très pratique. Les appuis isolants disposent d'un pied polyvalent qui permet la fixation dans une fourrure ou une fixation mécanique directe sur la paroi, grâce à leurs deux trous de fixation. Pour la rénovation toujours, il existe aussi des systèmes à manivelle. L'une de ses extrémités est pourvue d'une vis permettant la fixation mécanique sur la paroi, dans une cheville. De l'autre côté, un filetage accueille une rosace destinée au clipsage de la fourrure. La rosace est donc réglable en profondeur. De plus, sa forme est adaptée aux murs irréguliers

Les systèmes d'appuis pour doublages avec ossature métallique (2/3)

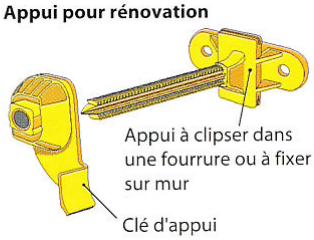
Appuis en polyamide/fibre de verre (système Optima d'Isover)

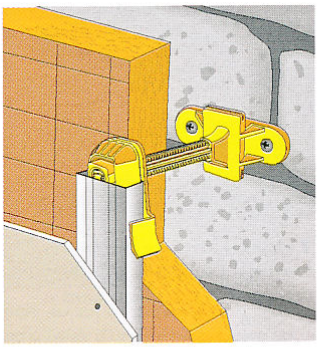




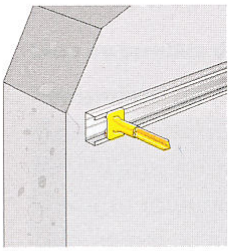
Choix de la longueur de l'appui		
Taille (mm)	Épaisseur isolant + 1 x BA 13 (mm)	Largeur des tapées des menuiseries (mm)
75	95 à 105	100
100	115 à 125	120
120	135 à 145	140

Appui pour rénovation

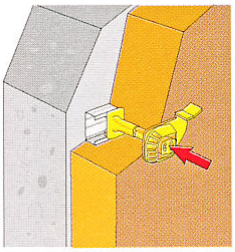




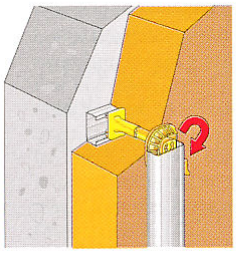
Mise en œuvre



1 *- Montez l'ossature : lisse haute, lisse basse et fourrure horizontale. Clipsez les appuis dans la fourrure horizontale tous les 60 cm.*

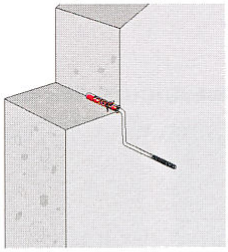


2 *- Découpez les panneaux de laine minérale de la hauteur d'étage majorée de 1 cm. Posez les panneaux jointifs et embrochez-les sur les tiges des appuis. Placez la clé d'appui pour maintenir l'isolant.*

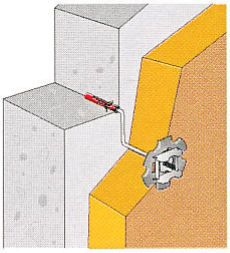


3 *- Mettez en place les fourrures verticales, dans les lisses hautes et basses et clipsez-les dans les clés d'appuis. Réglez la verticalité des fourrures, puis bloquez la clef en tournant la manette d'un quart de tour.*

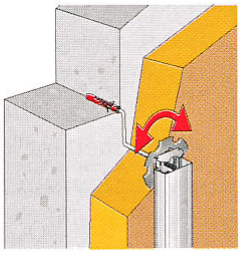
Autre système pour rénovation



1 *- Le système se compose d'une manivelle dotée d'un pas de vis et d'un filetage et d'une rosace couplée à un cavalier. Il permet des fixations dans des murs très irréguliers. Percez des trous aux emplacements requis pour les appuis et vissez les manivelles dans la paroi à l'aide d'une cheville adaptée.*



2 *- Découpez les panneaux de laine minérale de la hauteur d'étage majorée de 1 cm. Posez les panneaux jointifs et embrochez-les sur les manivelles. Vissez la rosace pour maintenir la laine minérale.*



3 *- Mettez en place les fourrures verticales, dans les lisses hautes et basses et clipsez-les dans les cavaliers des rosaces. Réglez la verticalité des fourrures en vissant ou en dévissant les rosaces.*

Figure 221 : Les systèmes d'appui pour les doublages sur ossatures métalliques (2/3)

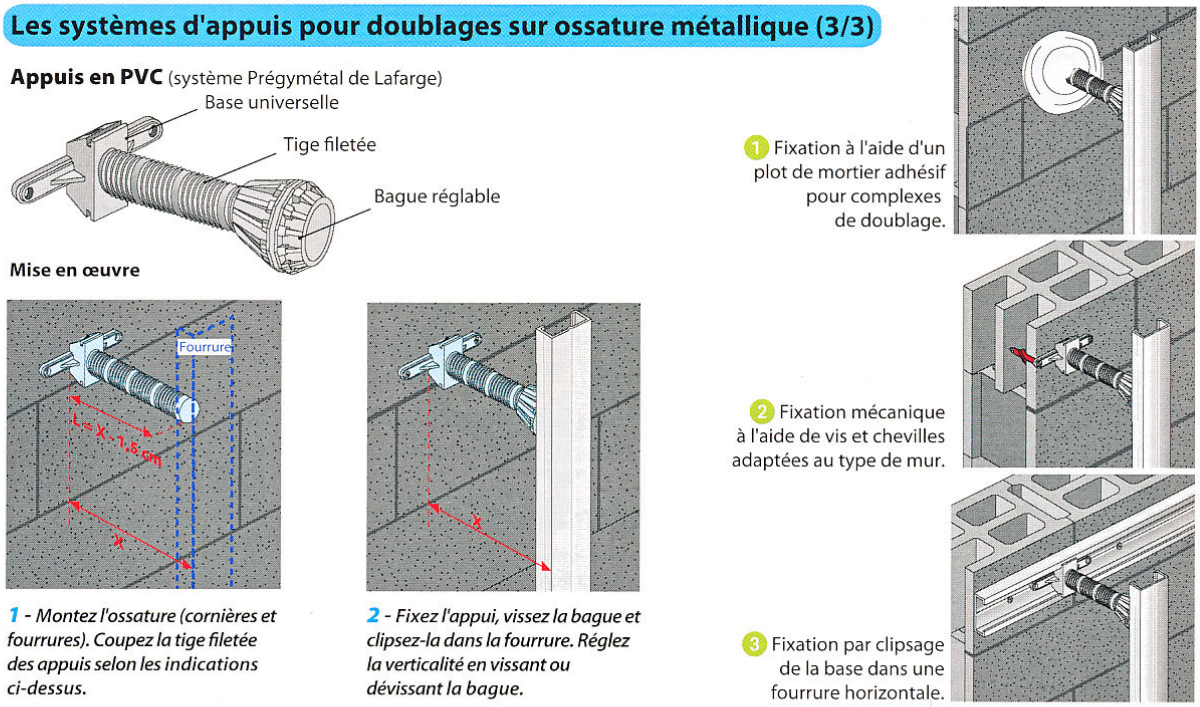


Figure 222 : Les systèmes d'appui pour les doublages sur ossatures métalliques (3/3)

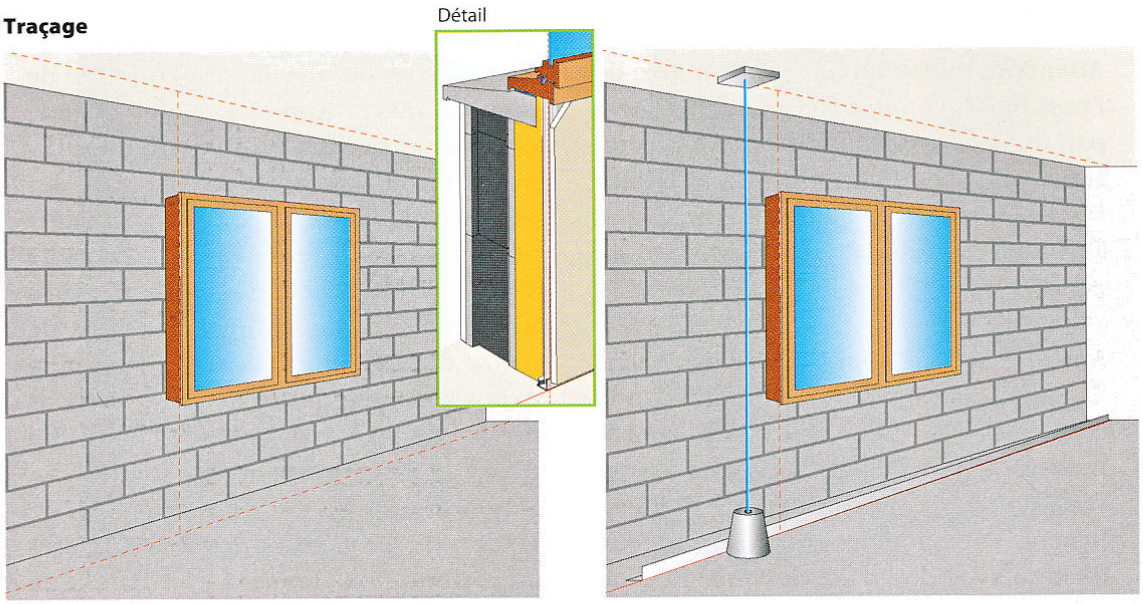
qui ne permettent pas toujours des percements précisément aux endroits que l'on souhaite.

Enfin, un dernier système d'appui polyvalent est intéressant. Il est présenté à la figure 222. Disposant d'une base universelle, il est naturellement isolant, car il est en PVC. La base permet, comme précédemment, la fixation par clipsage dans la lisse horizontale. La fixation peut aussi être mécanique, avec vis et chevilles dans la paroi ou s'effectuer par scellement au mortier adhésif. La tige est recoupable, pour une épaisseur d'isolant possible comprise entre 6 et 15 cm. Elle est pourvue d'un pas de vis permettant le réglage précis de l'ossature. Les fourrures se clipsent dans la bague de l'appui.
Si vous le souhaitez, vous pouvez encore créer une ossature en bois, comme support de fixation pour les plaques de plâtre. Dans ce cas, fixez au mur des pièces de bois de même épaisseur que l'isolant, que vous installerez entre les montants. Vous pouvez également utiliser des pièces de bois plus fines fixées au mur au moyen de pattes équerres. Vous placerez alors l'isolant entre le mur et les éléments d'ossature. Néanmoins, la mise en œuvre sera moins aisée pour un prix global de l'ossature plus élevé que dans le cas d'une ossature métallique industrialisée.

La mise en œuvre des systèmes présentés ci-dessus est assez aisée et à la portée de tout bon bricoleur. Pour un résultat optimal, apportez-y toutefois le plus grand soin possible.
Au moyen du cordeau à tracer, effectuez le traçage au sol de l'implantation de l'ossature (figure 223). Il dépend de l'épaisseur de l'isolant et du type de mise

Traçage et fixation des doublages avec ossature métallique (D'après Lafarge)

Traçage

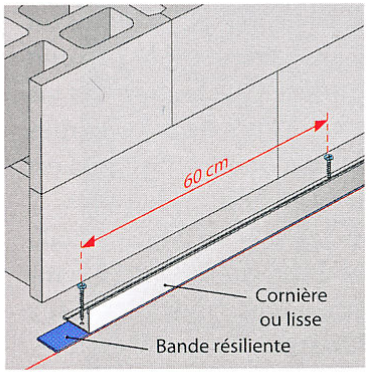


1 - Vous devez matérialiser l'implantation de l'ossature au sol et au plafond. Prenez la largeur de la tapée des menuiseries moins l'épaisseur du parement comme plan de référence. En rénovation, prévoyez la mise en place de tapées intérieures.

2 - Marquez la ligne de départ au sol à l'aide d'un cordeau traçeur. Reportez-la au plafond à l'aide d'un fil à plomb ou d'un niveau laser. Matérialisez-la de la même façon que pour le sol.

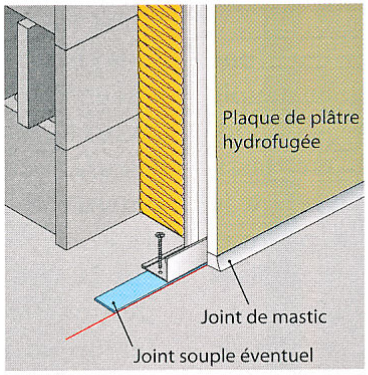
Lisse ou cornière de départ

Pièces sèches



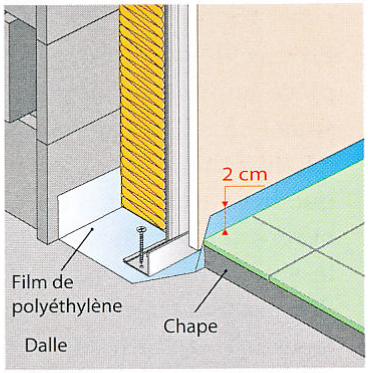
Les lisses (ou cornières) sont fixées au sol soit mécaniquement (chevilles à frapper ou pistoscellement), tous les 0,60 m maximum ou par collage si le support est lisse et propre.
Pour parfaire l'étanchéité à l'air, intercalez une bande résiliente entre le sol et la lisse.
Un joint souple doit également être intercalé entre le sol et la lisse dans les pièces humides peu exposées pour assurer l'étanchéité à l'eau.

Pièces humides (classées EB+ privatifs)



Les lisses (ou cornières) sont fixées au sol comme précédemment. Vous pouvez intercaler éventuellement un joint souple.
Utilisez uniquement des plaques de plâtre hydrofugées et renforcez l'étanchéité au sol en réalisant un joint de mastic.
Pour les locaux collectifs, vous devez appliquer une sous-couche de protection à l'eau sous carrelage sur la plaque de plâtre, associée en pied et dans les angles rentrants à une bande d'étanchéité.

Départ sur sol brut



Avant de poser l'ossature métallique sur un sol brut, il est nécessaire d'intercaler un film de polyéthylène ou de polyane de 100 microns d'épaisseur, sous la lisse. Le film doit être remonté à 2 cm au-dessus du sol fini. Il peut être agrafé en partie haute pour être maintenu lors de la réalisation de la chape.
Vous utiliserez des plaques de plâtre standard pour les pièces sèches ou hydrofugées pour les pièces humides.

Figure 223 : Le traçage et la fixation des ossatures métalliques

en œuvre des menuiseries extérieures, qui peuvent être au nu du mur intérieur ou avec des tapées, en rénovation.
Attention, tracez seulement l'emprise de l'ossature. En effet, pour un affleurement parfait, notamment au niveau des menuiseries, il ne faut pas inclure dans le tracé l'épaisseur de la plaque de plâtre, soit 12,5 mm environ. Reportez le tracé au plafond au moyen d'un fil à plomb.

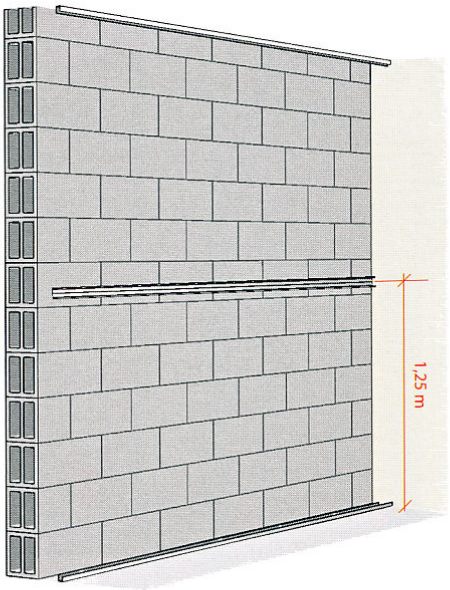
Après avoir pris soin de vérifier le sens de pose, qui peut être différent selon le type de profilé, fixez mécaniquement la lisse basse au sol. Sur une dalle en béton, vous pouvez avoir recours au pistoscellement. Vous pouvez aussi réaliser cette fixation avec des vis et des chevilles, ou des chevilles à frapper, par clouage, voire par collage si la nature du sol le permet. Placez une fixation tous les 0,60 m.
Pour une étanchéité à l'air optimale, avant de fixer, placez sous la lisse une bande résiliente.

En cas de pose sur sol fini dans une pièce humide, appliquez un joint souple sous la lisse, qui servira également pour l'étanchéité à l'air, puis, réalisez classiquement un joint d'étanchéité entre le bord inférieur de la plaque de plâtre et le sol. Dans ce type de locaux, utilisez des plaques de plâtre hydrofuges.
Si le sol est brut, disposez un film de polyéthylène sous la lisse. Faites-le passer également sous l'isolant et remonter contre le mur et contre la plaque de plâtre, sur une hauteur supérieure d'au moins 2 cm à celle du sol fini. Ce film sera masqué par les plinthes.

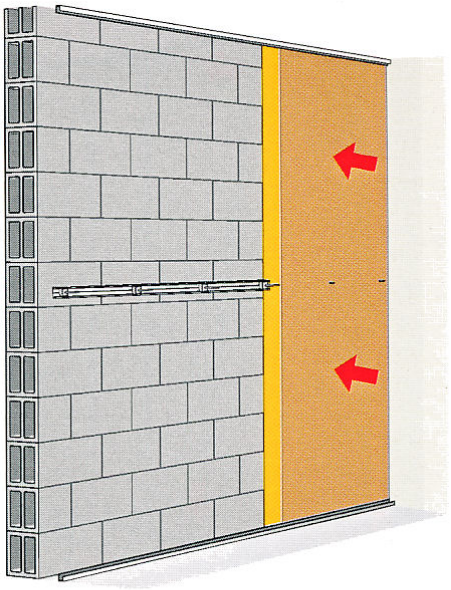
En cas de changement de destination d'une pièce, de sèche à humide, remplacez si possible les plaques de plâtre standard par des plaques hydrofuges. Sinon, appliquez une étanchéité liquide sur les parois à carreler, derrière le bac à douche et autour de la baignoire, ainsi que sur une hauteur de 0,10 m en périphérie de toute la pièce. Appliquez une seconde couche du produit en prenant soin d'y noyer une bande d'étanchéité dans les angles. Dans les locaux humides collectifs, appliquez une couche d'étanchéité sous carrelage, en plus des plaques hydrofuges. Vous pouvez en faire de même dans les endroits particulièrement exposés comme les douches, au-dessus des baignoires ou dans un hammam afin de garantir une étanchéité parfaite.

Fixez mécaniquement les lisses hautes au plafond, tous les 0,60 m (figures 224 à 226). Pour parfaire l'étanchéité à l'air, vous pouvez également intercaler une bande résiliente. Si le plafond est en plaques de plâtre, fixez la lisse dans l'ossature du plafond au moyen de vis autoperceuses. Vous pouvez aussi fixer dans les plaques de plâtre en utilisant des chevilles à expansion. Si le plafond est en hourdis, utilisez également des vis avec chevilles expansives dans les parties creuses. Attention, n'oubliez pas qu'il est interdit de percer dans les poutrelles.
Fixez mécaniquement la lisse horizontale sur la paroi, à la hauteur recommandée par le fabriquant, puis disposez les appuis, débarrassés de leur tête, à intervalle régulier (toujours 0,60 ou 0,40 m).
Pour une mise en place parfaite, découpez les panneaux d'isolant sur une hauteur correspondant à celle du sol au plafond, majorée de 1 cm. Ils doivent être jointifs, embrochés dans les tiges des appuis et maintenus par la tête des appuis.
Un pare-vapeur est nécessaire dans la majorité des cas. Les isolants avec pare-

La pose d'une ossature métallique pour doublages (1/2) (D'après Placo)

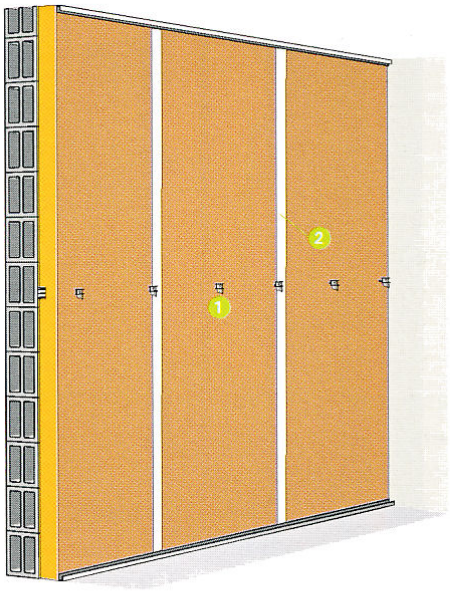


1 - *Fixez les coulisses hautes et basses. En cas de fixation sous un faux plafond, vissez les coulisses dans l'ossature du plafond ou utilisez des chevilles dans les plaques de plâtre. Fixez la lisse horizontale.*



3 - *Découpez les panneaux de laine minérale de la hauteur du sol au plafond majorée de 1 cm. Embrochez-les sur les tiges filetées des appuis. Posez les panneaux parfaitement jointifs.*

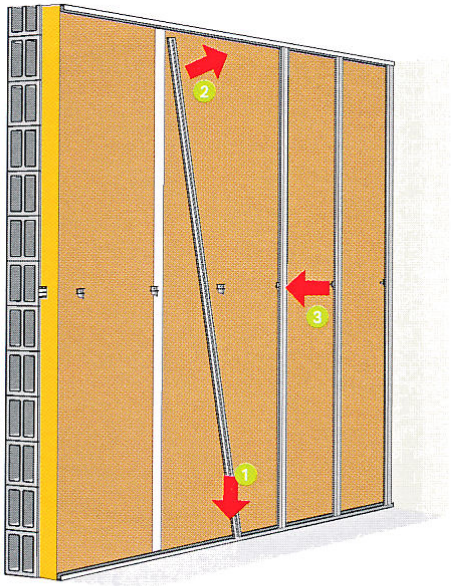
2 - *Mettez en place les appuis sur la lisse horizontale. Clipsez la partie cavalier et tige filetée. La longueur de la tige filetée doit être en rapport avec l'épaisseur de l'isolant. Placez un appui tous les 60 cm.*



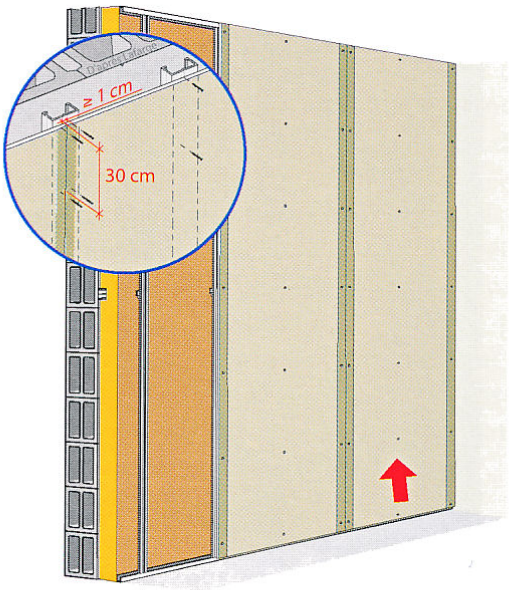
4 - *Bloquez les panneaux de laine minérale avec les cavaliers munis des dispositifs de blocage (1). Assurez la continuité du pare-vapeur de l'isolant avec des bandes de ruban adhésif (2) ou utilisez un pare-vapeur hygrorégulant.*

Figure 224 : La pose d'une ossature métallique pour doublage

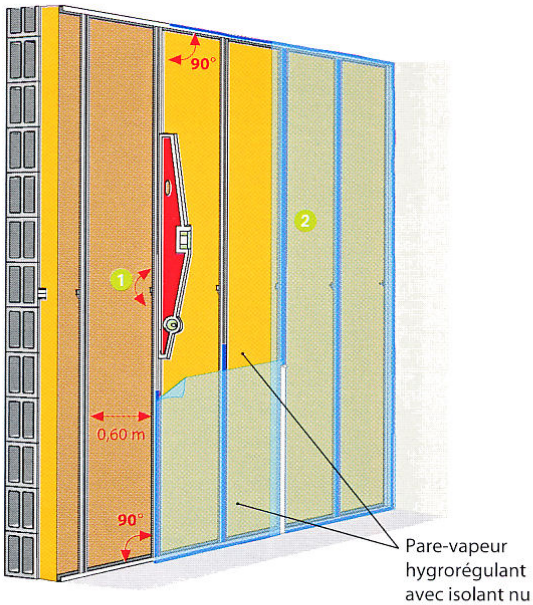
La pose d'une ossature métallique pour doublages (2/2) (D'après Placo)



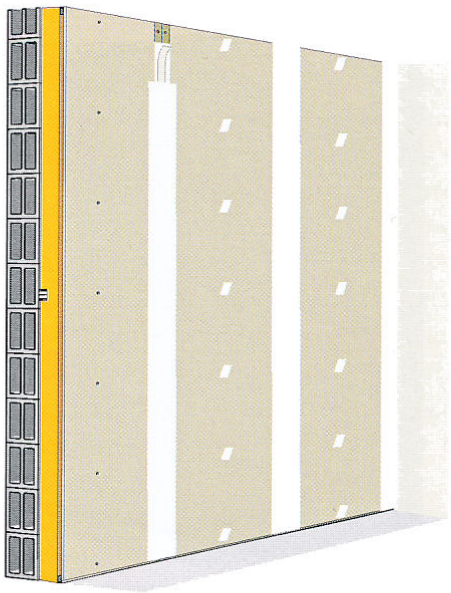
5 - *Coupez les fourrures à la longueur stipulée par le fabricant. Insérez la fourrure dans la coulisse basse (1). Faites-la pivoter (2) pour l'enclencher dans la coulisse haute. Fixez-la ensuite sur le cavalier de l'appui (3).*



7 - *Découpez les plaques de plâtre (cutter ou scie égoïne) de la hauteur sol/plafond diminuée de 1 cm. Posez les plaques jointives sur les fourrures et faites-les buter en plafond.*



6 - *Vérifiez la mise en place des fourrures puis emboîtez-les dans les coulisses. Réglez la verticalité en jouant sur les appuis (1). Si vous avez choisi un pare-vapeur hygrorégulant, posez-le à cette étape (2).*



8 - *Réalisez les finitions : enduit et bandes de joints sur les raccords entre plaques et enduit sur les têtes de vis de fixation sur les fourrures intermédiaires.*

Figure 225 : La pose d'une ossature métallique pour doublage (suite)

Doublage sur ossature métallique avec étanchéité à l'air et maîtrise de la vapeur d'eau

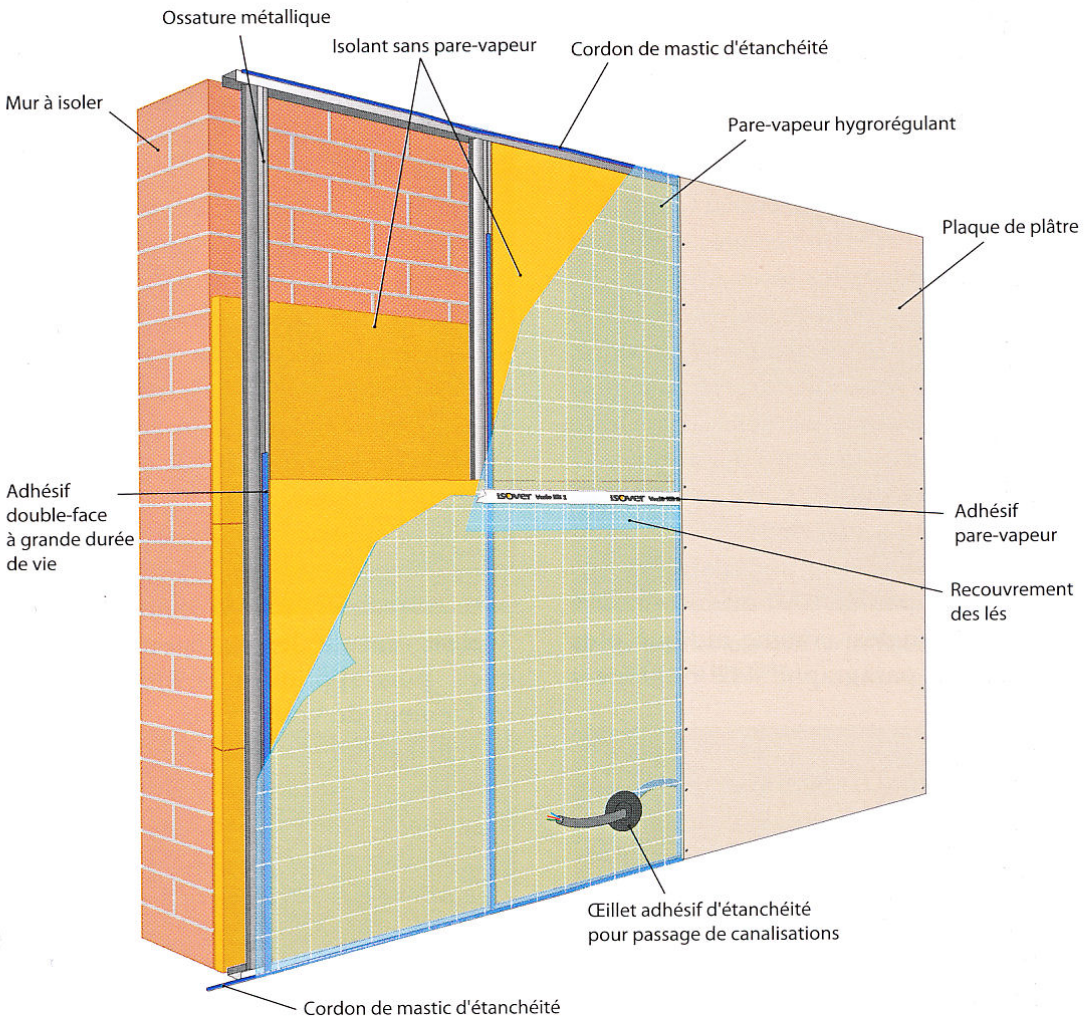


Figure 226 : Le doublage d'une ossature métallique avec pare-vapeur continu

vapeur intégré, bien que très répandus, sont déconseillés. En effet, ils n'offrent pas une protection correcte au transfert de vapeur d'eau par convection, notamment aux jonctions avec les parois où persistent des ponts de vapeur. Solidariser les lés avec de l'adhésif pare-vapeur est une bonne précaution, mais ne résout pas le problème. La meilleure solution consiste à utiliser un isolant sans pare-vapeur, puis à poser un pare-vapeur indépendant continu sur l'ossature métallique (figure 226). Il peut s'agir d'une feuille de PE, de PP ou mieux d'un pare-vapeur hygrorégulant. Pour le fixer, utilisez de l'adhésif double face sur les fourrures. Les lés peuvent être horizontaux ou verticaux. Respectez un recouvrement entre eux de 10 cm au minimum et joignez-les avec un adhésif pare-vapeur. Équipez tous les percements de manchons d'étanchéité. Cette solution offre également une excellente étanchéité à l'air. Pour plus de détails sur

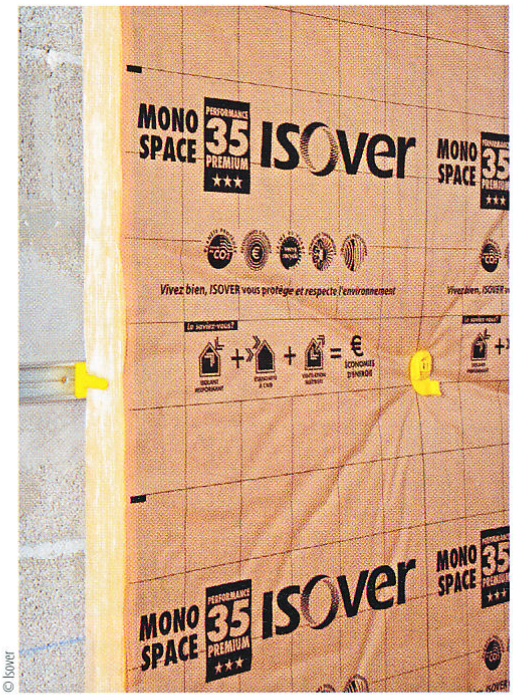
la mise en œuvre de ces pare-vapeurs, reportez-vous page 605.
Pour l'installation des fourrures, découpez-les à la hauteur d'étage moins 1 cm. Rentrez-les légèrement en biais et faites-les pivoter dans les lisses haute et basse. Elles sont maintenues en haut et en bas selon le système choisi (clips, serrage dans les lisses ou vissage). Emboîtez les fourrures dans les têtes d'appui.
À ce stade, vous pouvez passer les gaines électriques entre l'isolant et l'ossature. Vous pouvez procéder également à la pose des éventuels éléments d'ossature supplémentaires destinés à renforcer la structure, aux endroits où seront fixés des éléments lourds.
Réglez l'ossature, puis installez les fourrures au pas de 0,60 ou 0,40 m et à 0,10 m des angles, comme indiqué plus loin dans le paragraphe « Le traitement des angles ».

Mettez l'ossature d'aplomb et vérifiez son alignement avec une règle de 2 m : vous ne devez pas constater de défaut supérieur à 5 mm. De même, il ne doit y avoir de faux aplomb supérieur à 5 mm sur la hauteur d'étage. Lorsque le réglage est terminé, verrouillez la tête des appuis.
Stockez les plaques de plâtre à l'abri des intempéries, des chocs et des salissures, obligatoirement à plat, sur des cales de 10 cm de largeur, espacées tous les 0,50 m et d'une longueur égale à la largeur des plaques.
Pendant la manutention, évitez de frotter les plaques les unes contre les autres. Évitez de les poser à terre sur leurs angles. N'utilisez pas les plaques cassées ou fendues, car elles pourraient compromettre la résistance mécanique de l'ouvrage. Néanmoins, vous pouvez réutiliser les parties intactes après découpe.
Après la réalisation de l'ossature, procédez à la pose des plaques de plâtre. Découpez-les à la hauteur d'étage minorée de 1 cm. Pour installer une plaque de plâtre, plaquez son bord supérieur contre le plafond, puis vissez-la sur la structure métallique. Chaque plaque doit être jointive avec la suivante. Ne placez aucune vis à moins de 1 cm des bords, en respectant un pas maximum de 30 cm sur toute la largeur. Utilisez des vis à tête trompette de 25 mm de longueur. Si vous souhaitez installer une seconde épaisseur de plaques, utilisez des vis de 45 mm. Veillez bien à ce que la tête des vis affleure parfaitement la surface des plaques de plâtre. Pour cela, faites des essais de réglage de puissance de votre visseuse pour arriver au couple idéal pour cette opération.
Réalisez ensuite les joints entre les plaques, puis appliquez la finition ou le revêtement de votre choix.
La figure 227 illustre les étapes de pose d'un isolant sur ossature. On constate la rigidité du panneau d'isolant. Les panneaux mis en place, sont maintenus par les appuis qui supportent les fourrures et les plaques de plâtre.

Aux jonctions avec les menuiseries extérieures, il convient d'assurer la continuité du support des plaques de plâtre (figure 228). Pour cela, plusieurs méthodes sont possibles. Vous pouvez fixer des lisses ou des cornières sur les tapées de la menuiserie, en allège, en imposte et sur les côtés. Fixez les fourrures dans le prolongement des montants de la fenêtre. De chaque côté de la menuiserie, vous pouvez remplacer les cornières verticales sur toute la hauteur par des fourrures. Respectez toujours l'entraxe entre les fourrures (0,40 ou 0,60 m). Celles qui sont situées de chaque côté de la menuiserie seront peut être excé-

1 Après découpe des panneaux d'isolant, installez-les sur les appuis.

3 Emboîtez les fourrures sur les têtes d'appui, réglez, puis bloquez.



2 Les têtes d'appui maintiennent l'isolant en place.

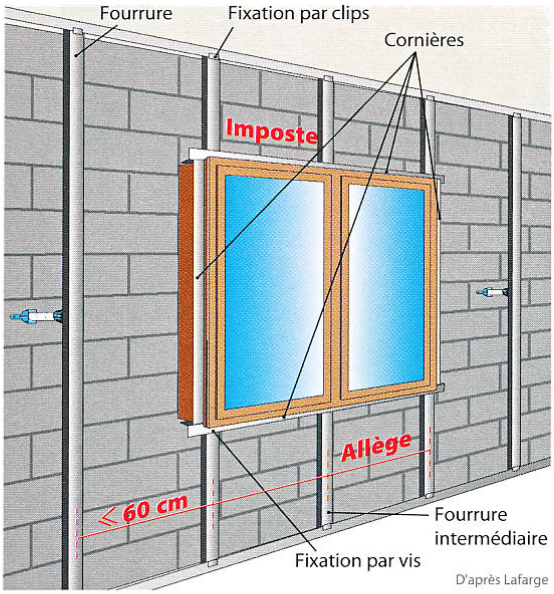
4 Vissez les plaques de plâtre sur l'ossature.

Figure 227 : Exemple de pose d'un doublage sur ossature

© Isover

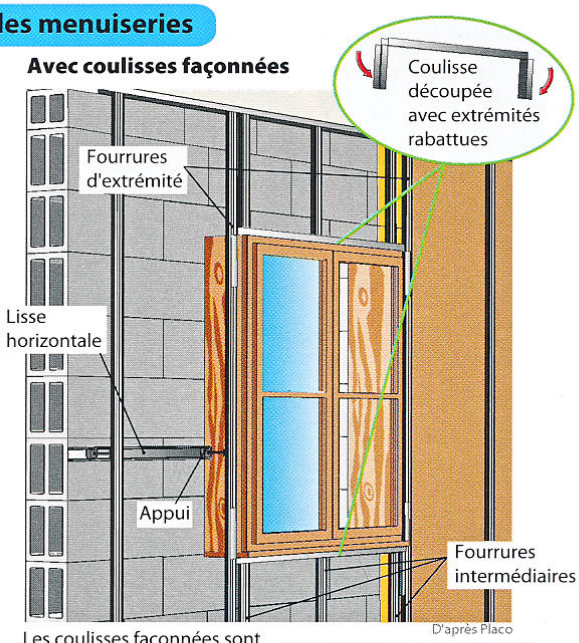
La jonction des ossatures métalliques avec les menuiseries

Avec cornières

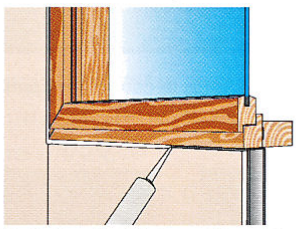


Des cornières de 30 x 35 mm sont vissées en allège, en imposte et sur les côtés de la tapée. Respectez l'écartement des fourrures.

Avec coulisses façonnées

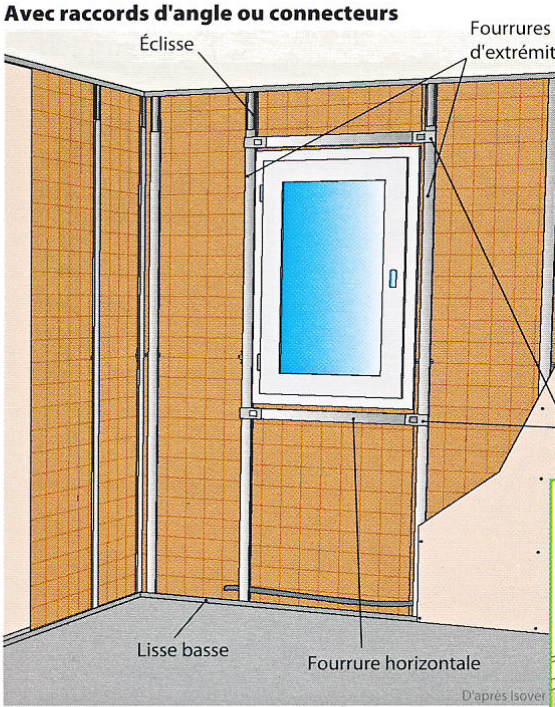


Les coulisses façonnées sont emboîtées dans les fourrures d'extrémité et vissées sur les traverses hautes et basses des menuiseries.

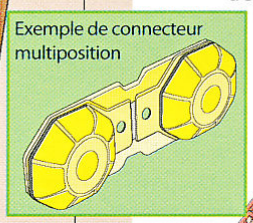


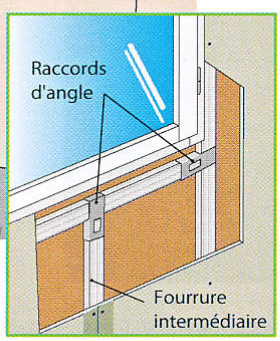
Réalisation d'un joint supplémentaire d'étanchéité à l'air.

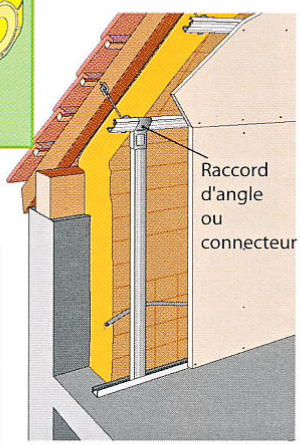
Avec raccords d'angle ou connecteurs



L'utilisation de raccords d'angle est très pratique s'il n'est pas possible de prendre appui sur la menuiserie. Le système permet également d'installer des fourrures intermédiaires (vignette).







Les raccords d'angle ou les connecteurs permettent également la continuité de l'ossature métallique pour l'isolation des combles, par exemple.

Figure 228 : La jonction des ossatures avec les menuiseries extérieures

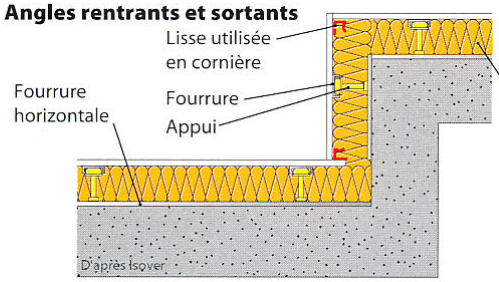
dentaires, mais elle serviront à stabiliser la plaque de plâtre autour de la fenêtre. Les plaques de plâtre ne doivent pas avoir un porte-à-faux supérieur à 10 cm. Découpez les fourrures situées en allège ou en imposte à la hauteur correspondante, moins 1 cm.
Une autre possibilité consiste à placer une fourrure d'extrémité de part et d'autre de la fenêtre, à 10 cm maximum des montants. Découpez les ailes d'une coulisse et rabattez ses extrémités pour former un angle droit. Emboîtez-les dans les fourrures d'extrémité, puis vissez-les sur les traverses haute et basse de la menuiserie. En imposte et en allège, installez des fourrures au droit des montants des menuiseries, puis des fourrures intermédiaires, pour respecter le pas de pose de l'ensemble de la paroi.

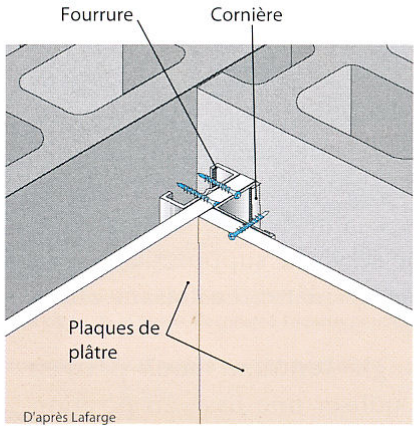
Enfin une dernière solution consiste à utiliser des raccords d'angles. Ils peuvent être métalliques ou à base de matière plastique (voir l'isolation des combles, page 599). Ils permettent d'assembler les fourrures verticales et horizontales. Le système est polyvalent et permet de résoudre de nombreux cas de figure, notamment au niveau des pieds droits des combles. De plus, il devient possible de créer une structure sans prendre appui sur la menuiserie, ce qui peut s'avérer utile lorsque le vissage n'est pas possible, comme par exemple dans une menuiserie en aluminium ou en PVC. La pose de fourrures en imposte et en allège se trouve grandement facilitée.
Dans tous les cas, faites en sorte que le raccord entre deux plaques de plâtre ne tombe pas sur une fourrure d'extrémité, quitte pour cela à débuter la pose avec une demi plaque. Pensez à renforcer l'étanchéité à l'air aux jonctions entre les plaques de plâtre et l'encadrement de la menuiserie. Pour ce faire, réalisez un joint avec de la mousse de polyuréthane, ou avec un mastic acrylique. Naturellement, la menuiserie doit avoir été correctement posée et offrir une parfaite étanchéité à l'air et à l'eau au niveau de ses raccords avec la maçonnerie.

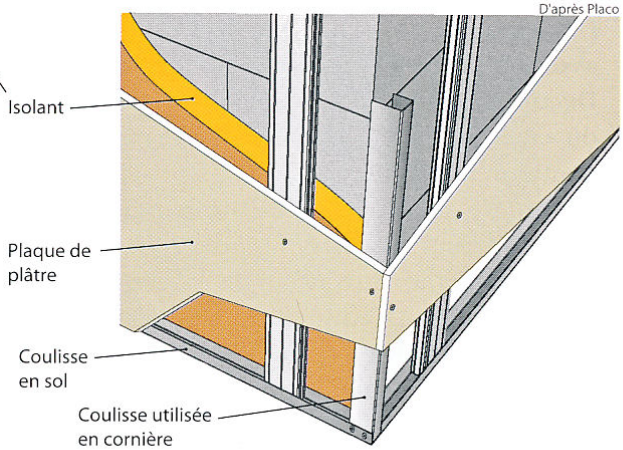
D'autres points singuliers doivent être traités minutieusement, notamment les angles, qu'ils soient rentrants ou saillants (figure 229). Près des angles saillants, fixez une fourrure verticale de part et d'autre, à environ 10 cm du bord. Au niveau de l'angle lui-même, insérez une coulisse verticale entre les coulisses hautes et basses. Son but est de renforcer l'angle et de servir de support de vissage aux plaques de plâtre, en faisant office de cornière.
Pour un angle rentrant, vous pouvez également utiliser une lisse en position verticale comme cornière ou choisir une véritable cornière. Si vous optez pour cette dernière, vissez-la sur la fourrure située à l'extrémité du mur et qui est déjà recouverte de la plaque de plâtre.
Dans le cas d'un faux-plafond non isolé, vous devez faire parvenir l'isolant de la paroi verticale jusqu'au plancher supérieur.
Pour les fixations lourdes comme les lavabos, par exemple, posez des renforts à l'emplacement prévu des fixations, dès la réalisation de l'ossature. Il peut s'agir de pièces de bois maintenues entre la lisse basse et une lisse intermédiaire. Vous pouvez aussi opter pour un bâti support spécialement prévu pour les sanitaires suspendus.
L'intégration des réseaux domestiques ne pose pas de problèmes particuliers. Passez les canalisations électriques entre l'isolant et l'ossature (figure 230). Avec ce système d'isolation, il n'est pas

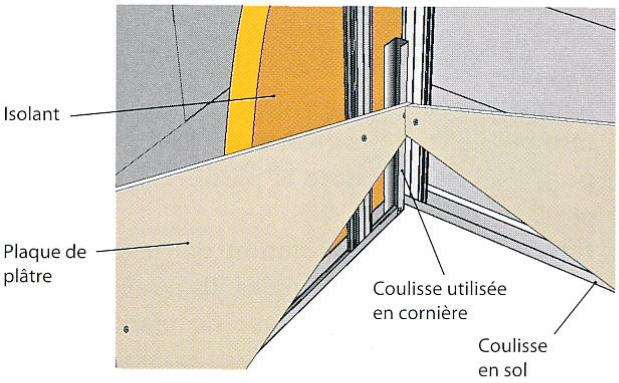
Les points singuliers des doublages sur ossature métallique

Angles rentrants et sortants

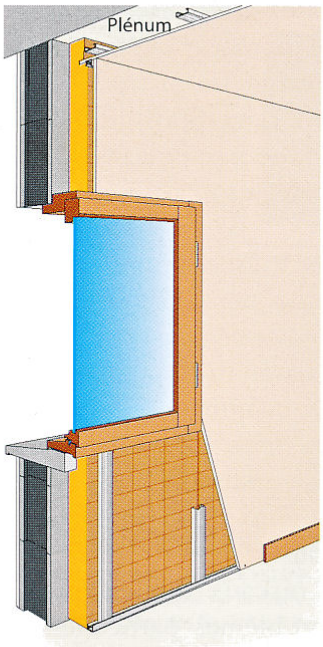






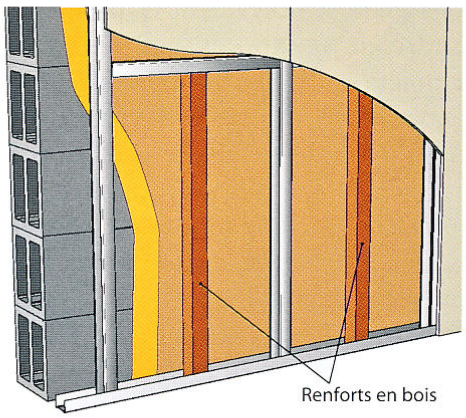


Faux plafond non isolé



L'isolation thermo-acoustique doit être prolongée dans le plénum du plafond. La lisse haute est fixée sur le faux plafond. Soit dans l'ossature par vissage, soit dans la plaque de plâtre en utilisant des chevilles à expansion adaptées et des vis.

Fixation lourde

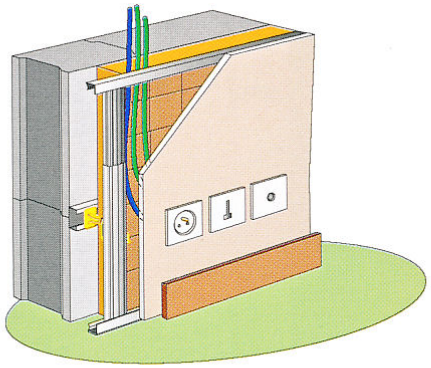


Pour des charges supérieures à 30 kg, prévoyez des renforts ou des supports incorporés à l'ossature métallique.

Figure 229 : Les points singuliers des doublages sur ossatures métalliques

L'intégration des réseaux derrière les doublages sur ossature métallique

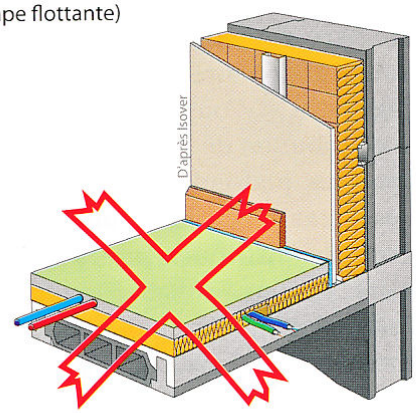
En rénovation légère



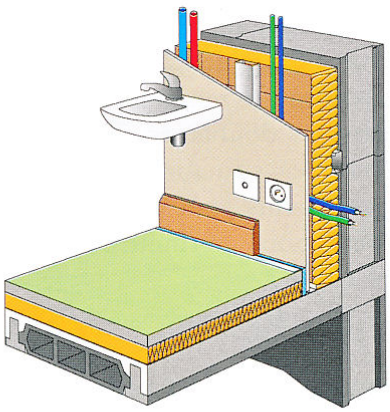
Les réseaux peuvent facilement transiter dans le vide créé par l'ossature métallique entre l'isolant et la plaque de plâtre.

En neuf ou rénovation lourde

(Chape flottante)

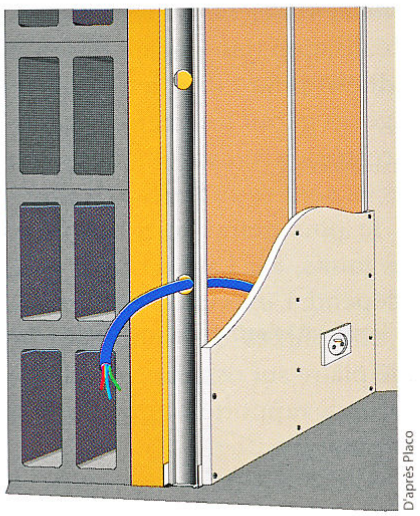


Il est interdit de faire transiter des canalisations dans une chape flottante ou dans l'isolant.

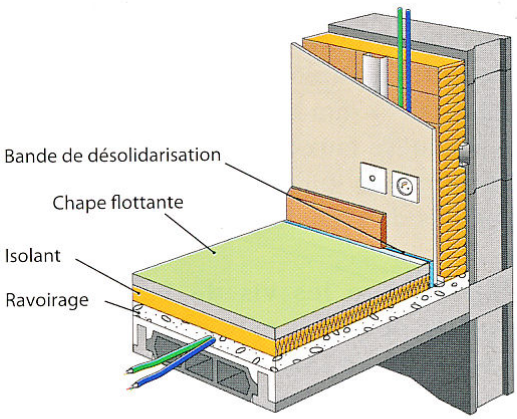


Les canalisations électriques et des fluides peuvent transiter dans le vide de l'ossature métallique ainsi que par les faux-plafonds.

Avec ossature autoportante



Les canalisations électriques peuvent être glissées entre l'isolant et les plaques de plâtre en passant dans les orifices des montants.



Les canalisations peuvent également être incorporées à un ravoirage réalisé sous la chape flottante.

Figure 230 : L'intégration des réseaux dans un doublage sur ossature métallique

nécessaire de traverser l'isolant, il n'y a donc pas de risques de créer de ponts thermiques. Si vous n'avez pas posé un pare-vapeur continu, utilisez des boîtes d'encastrement étanches à l'air (figure 213). Vous pouvez aussi réaliser la distribution de l'installation électrique dans les plafonds rapportés. Ainsi les descentes dans les doublages permettront de distribuer prises et interrupteurs. Si vous souhaiter opter pour une chape flottante, vous pouvez aussi faire cheminer les canalisations en dessous. Précisons qu'elles ne doivent pas passer dans la chape flottante même. Pour distribuer les réseaux, effectuez un ravoirage de ciment maigre avant de réaliser la chape flottante. Vous pourrez récupérer aisément les remontées des canalisations dans les doublages.
Dans les structures autoporteuses, des percements sont prévus dans les montants pour permettre le passage des réseaux.

Les finitions des plaques de plâtre

Avant de passer à la finition, rappelons que les parements en plaques de plâtres doivent respecter certaines règles de planéité et d'aplomb (au maximum, un défaut de 5 mm sous une règle de 2 m et 5 mm de faux-aplomb sur la hauteur d'étage). Les joints ne doivent pas être saillants de plus de 1 mm.

Vérifiez que les vis de fixation des plaques de plâtre ont été correctement posées (figure 231). Leur tête doit affleurer parfaitement à la surface de la plaque de plâtre. Si une vis est trop enfoncée, elle endommage le parement, n'assure plus un serrage correct et il faut la remplacer. Si elle n'est pas suffisamment

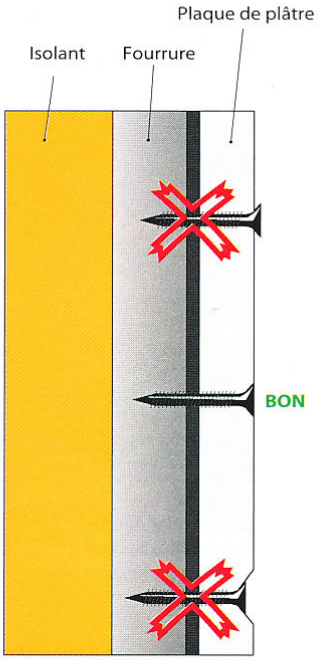


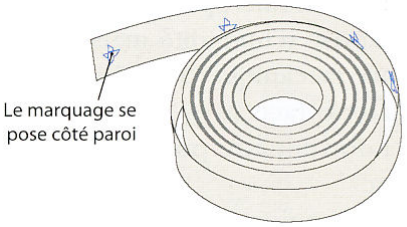
Figure 231 : Le positionnement d vis de fixation

enfoncée, elle se verra après les finitions, il faut donc la visser de nouveau.
Avant la réalisation des joints, utilisez du mortier adhésif pour effectuer les divers rebouchages et garnir les interstices entre plaques restées accidentellement non jointives s'ils sont supérieurs à 1 mm.
Apportez le plus grand soin à la réalisation des joints, car l'aspect final de la paroi en dépend. L'exécution est la même pour les complexes de doublage, les plaques de plâtre sur ossature métallique ou les plafonds rapportés en plaques de plâtre sur ossature.
Munissez-vous d'enduit pour plaques de plâtre, prêt-à-l'emploi ou en poudre, à mélanger avec de l'eau. Préparez plusieurs couteaux à enduire dans différentes largeurs, dont au moins un doit être moins large que la largeur de deux zones amincies bord à bord. Vous pouvez également utiliser un platoir à lame inox pour la finition, si vous maîtrisez cet outil et des bandes de joint ordinaires en papier (figure 232). Avant de les appliquer dans les angles rentrants ou

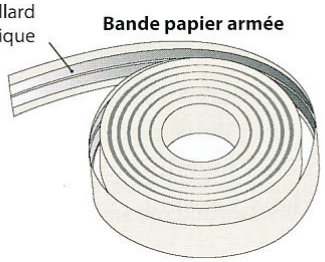
Les joints pour plaques de plâtre ou doublages

Le matériel

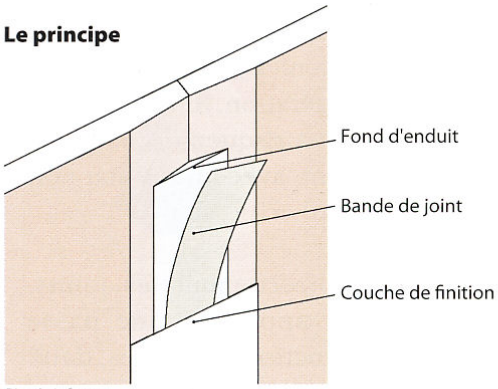
Bande papier simple



Bande papier armée

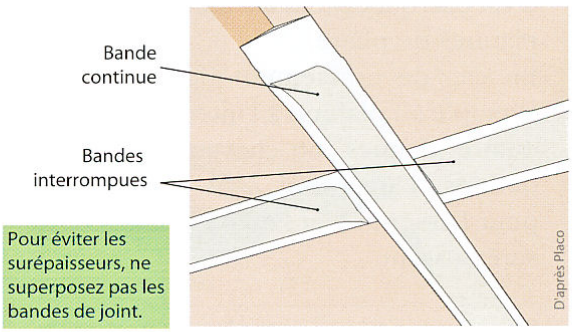


Le principe



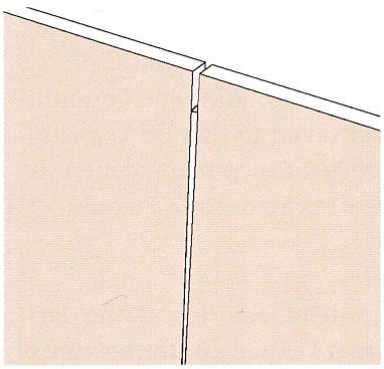
D'après Lafarge

Les croisements de bandes

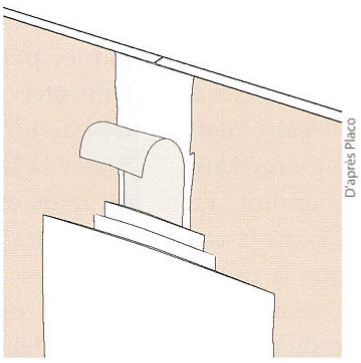


Pour éviter les surépaisseurs, ne superposez pas les bandes de joint.

Raccord entre deux bords droits (coupes)

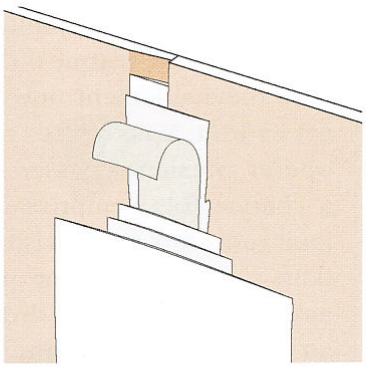


1 - Les plaques doivent être posées jointives. Les jeux supérieurs à 1 mm doivent être comblés au mortier adhésif.



2 - Le joint est traité comme un joint classique mais en élargissant les couches de finition.

Raccord bord aminci/bord droit



Le bord aminci est comblé au mortier adhésif. Le joint est ensuite traité comme précédemment.

Figure 232 : Les joints des plaques de plâtre

saillants, pliez les bandes en leur centre. Elles ont une largeur de 50 mm, sont en papier spécial microperforé, offrent une faible reprise d'humidité mais une forte résistance mécanique. Si les bandes comportent une face avec des marquages, ceux-ci doivent être posés côté plaques de plâtre.
Pour les angles saillants verticaux, utilisez une bande spéciale armée et renforcée par deux bandes flexibles métalliques. Placez l'armature métallique côté plaques. Vous pouvez aussi utiliser des cornières métalliques ou plastiques, à noyer dans l'enduit.

Pour des joints parfaits, noyez toujours la bande dans plusieurs couches d'enduit. C'est elle qui évitera les fissures entre les plaques de plâtre.
En cas de croisement de joints, par exemple au plafond à l'intersection entre quatre plaques, ne chevauchez pas les bandes. L'une doit être interrompue pour laisser passer l'autre, sans créer de surépaisseur.

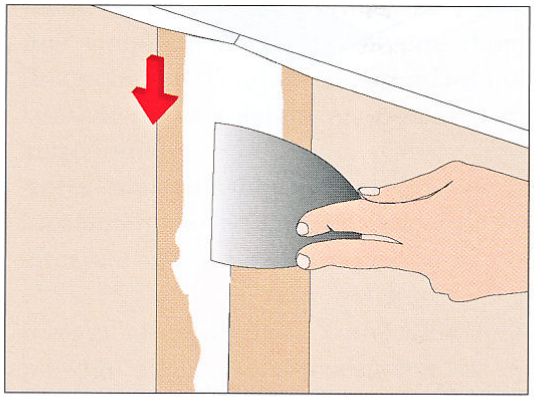
Pour les jonctions entre bords non amincis, ce qui doit se produire le moins souvent possible en pose normale, réalisez également un joint sur la liaison entre les deux plaques. Cependant, il y aura inévitablement une surépaisseur à cet endroit. Vous devrez nécessairement opérer plusieurs passes en élargissant à chaque fois l'emprise de l'enduit. Le joint sera alors moins visible. Dans le cas d'un raccord entre une plaque à bords amincis et une plaque droite, remplissez au préalable la partie amincie de mortier adhésif, puis après séchage, réalisez le joint comme dans le cas de deux bords non amincis.
Ne cherchez pas à réaliser l'opération en une seule passe ni à créer une épaisseur d'enduit que vous poncerez par la suite. Procédez toujours par passes fines et régulières, laissez sécher, égrainez, puis recommencez une nouvelle passe.

Les joints entre plaques de plâtre sont souvent mal réalisés par les néophytes, car ils commettent cette erreur. Il est préférable de ne pas mettre assez d'enduit plutôt que trop. Vous pourrez toujours refaire des passes. Si vous appliquez trop d'enduit, vous tenterez de poncer les joints pour réduire les surépaisseurs, ce qui est long et conduit quasi inévitablement à la détérioration du parement cartonné des plaques de plâtre. Dans ces conditions, vous ne pourrez plus obtenir un état de surface lisse.
De plus, si vous tentez de faire les joints en une seule opération, en travaillant l'enduit frais, vous risquez de déplacer les bandes de joint, avec un résultat non lissé et très irrégulier.

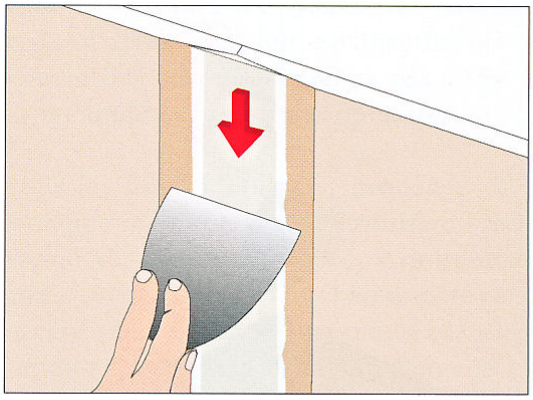
Pour réaliser correctement les joints, commencez par appliquer une passe d'enduit à la jonction entre les deux plaques (figure 233). Tracez la position du joint entre les deux plaques avec la pointe du couteau de peintre. Vous avez ainsi un repère pour placer la bande de papier parfaitement dans l'axe.
Déroulez la bande de joint sur l'enduit, de bas en haut, avec le dos de la main. Serrez la bande avec le couteau, cette fois de haut en bas, pour retirer l'excédent d'enduit.

Utilisez un couteau en inox d'une largeur inférieure à l'espace entre les deux bords amincis. La lame doit être inclinée légèrement vers le bas. Avec un angle droit, elle ôterait trop d'enduit, en risquant d'abîmer la bande de joint. Trop inclinée, elle laisserait trop d'enduit.

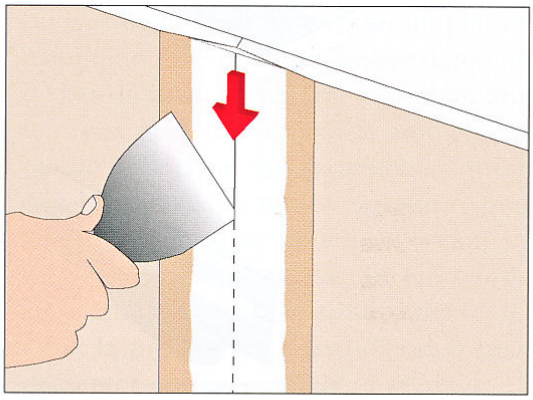
Réalisation des joints entre plaques de plâtre ou doublages (1/2)



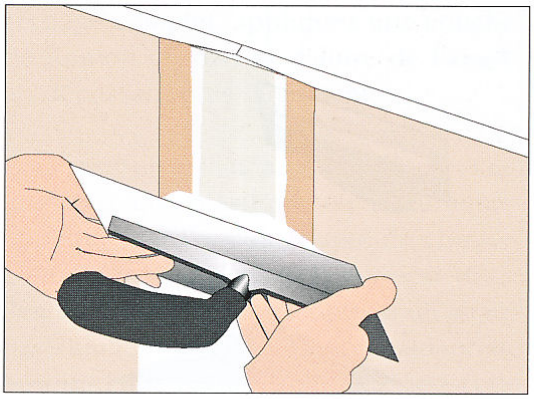
1 - Appliquez une couche d'enduit au couteau à la jontion des 2 plaques, sur les bords amincis.



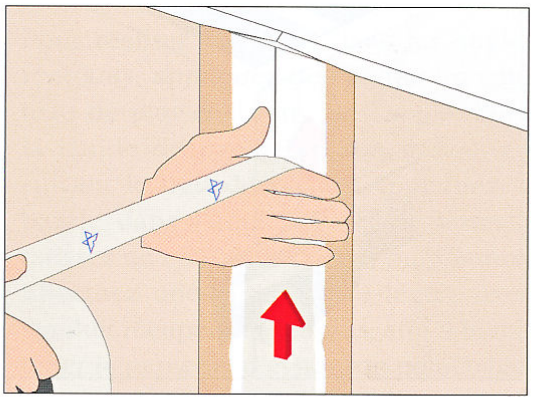
4 - Serrez la bande pour éliminer le surplus d'enduit. Procédez avec la lame du couteau inclinée et de haut en bas.



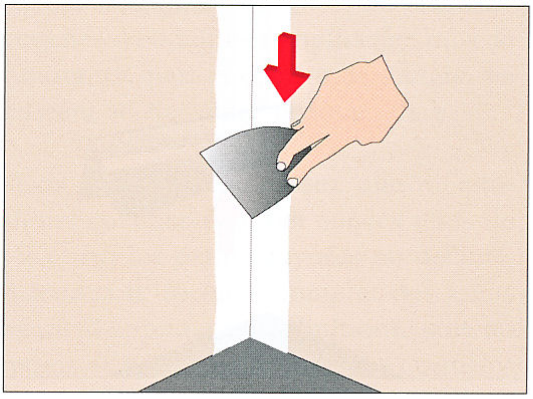
2 - Avec la pointe de la lame du couteau, marquez l'axe du raccord entre les deux plaques, sur toute la hauteur.



5 - Après séchage (1 à 12 heures, selon le type d'enduit), passez une couche de finition au moyen du platoir en débordant légèrement sur les parties plates.



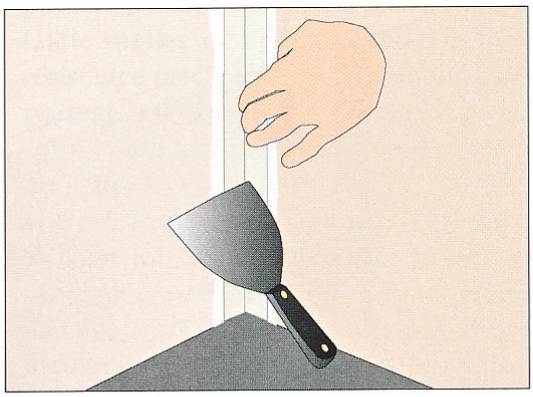
3 - Placez la bande sur l'axe du joint, partie marquée dans l'enduit. Procédez du bas vers le haut.



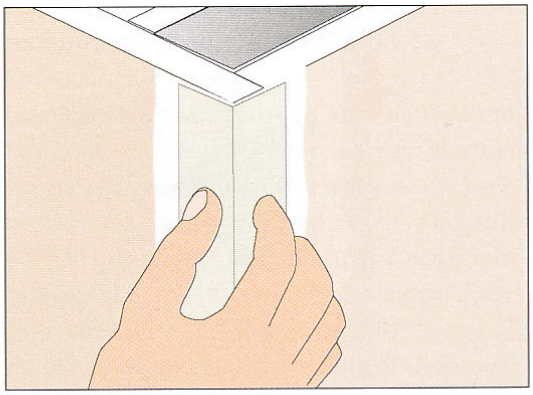
6 - Pour le traitement des angles rentrants, appliquez une couche d'enduit de part et d'autre du raccord.

Figure 233 : La réalisation des joints entre plaques de plâtre (1/2)

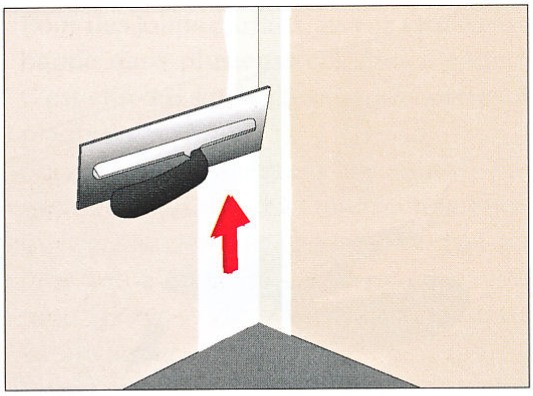
Réalisation des joints entre plaques de plâtre ou doublages (2/2)



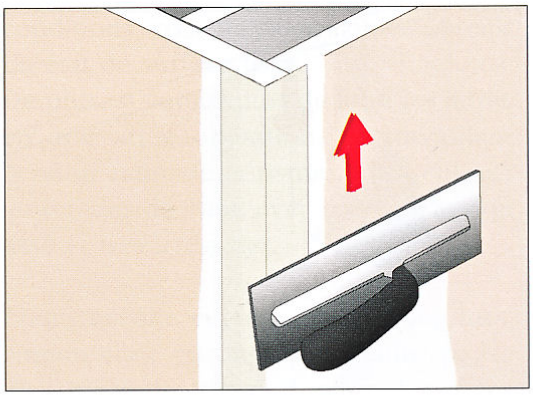
7 - *Pliez la bande de joint en son milieu, puis appliquez-la dans l'angle en la serrant avec la lame du couteau. Procédez de la même façon pour l'autre côté.*



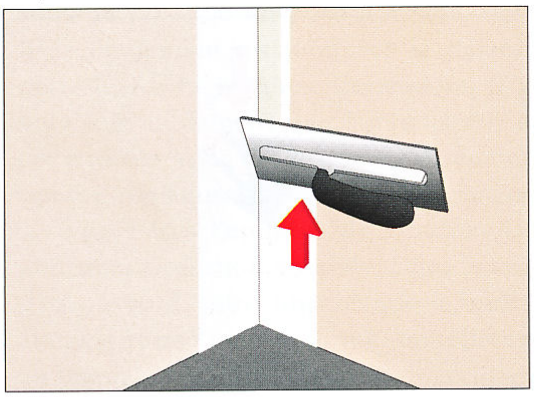
4 - *Serrez la bande pour éliminer le surplus d'enduit. Procédez avec la lame du couteau inclinée et de haut en bas.*



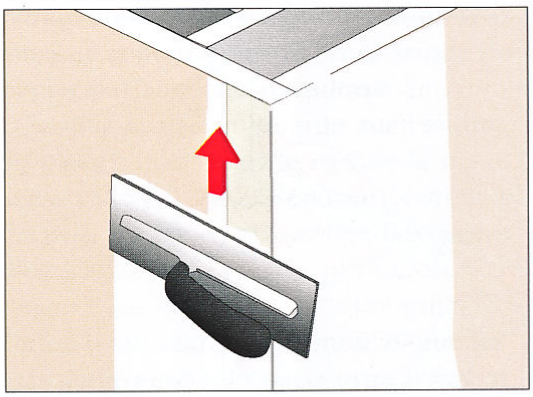
8 - *Appliquez l'enduit de finition au platoir, de bas en haut et sur un seul côté de l'angle dans un premier temps.*



Angle saillant : **1** - *Appliquez une couche d'enduit des deux côtés, pliez la bande armée (acier côté enduit), puis serrez la bande pour éliminer le surplus d'enduit.*



3 - *Après séchage de l'enduit du premier côté de la bande, procédez de la même façon pour enduire l'autre côté de la bande.*



2 - *Appliquez largement l'enduit de finition d'un côté de la bande, laissez sécher, puis répétez la même opération pour l'autre côté de l'angle.*

Figure 233 : La réalisation des joints entre plaques de plâtre (2/2)

Cette première passe est donc réalisée en creux par rapport à la surface des plaques, ce qui est normal. La bande doit simplement être recouverte d'une fine pellicule d'enduit. En attendant que l'enduit sèche totalement, passez à un autre joint.
Après plusieurs heures de séchage ou idéalement le lendemain, vous pouvez effectuer une nouvelle passe.

Il s'agit de réaliser la couche de remplissage. Pour cela, utilisez cette fois un couteau dont la lame est plus large que la zone amincie, afin de pouvoir prendre appui sur la surface des plaques. Vous pouvez également opter pour un platoir. Appliquez une noix généreuse d'enduit, de bas en haut, en veillant à combler tout le creux créé par les bords amincis, au ras de la surface des parements. Attendez le séchage complet, égrainez, puis appliquez une fine couche d'enduit de finition en débordant sur une largeur de 2 à 5 cm au-delà de la zone amincie. En effet, la précédente passe d'enduit peut présenter un léger retrait au séchage. La couche de finition permet de rattraper cet éventuel manque.

Pour réaliser les joints dans les angles rentrants, appliquez de l'enduit au couteau de part et d'autre de l'angle. Pliez la bande de papier en son milieu, en suivant le trait de pliage. Appliquez la bande dans l'angle. Avec le couteau, ratissez un côté de la bande, puis l'autre. Effectuez une petite passe légère avec l'enduit récupéré en surplus, afin d'humidifier le papier et d'éviter son peluchage. Au moyen du platoir, appliquez une couche de recouvrement sur un premier côté de l'angle. Laissez sécher cette première passe, puis recommencez la même opération sur l'autre côté de l'angle. Procédez toujours de la même manière en effectuant des passes peu chargées en enduit, vous pourrez ajouter des passes si la quantité d'enduit est insuffisante. Encore une fois, ne cherchez pas à réaliser l'angle en une seule opération.

Pour les angles saillants, procédez de la même manière, mais en utilisant une bande de papier renforcé. Appliquez une couche d'enduit de chaque côté de l'angle, pliez la bande et appliquez-la sur l'enduit frais. Serrez la bande d'un côté, puis de l'autre. Recouvrez d'enduit l'un des côtés, laissez sécher, puis appliquez l'enduit de l'autre côté de l'angle. Après séchage complet, appliquez une couche de finition de part et d'autre de l'angle en dépassant plus largement.

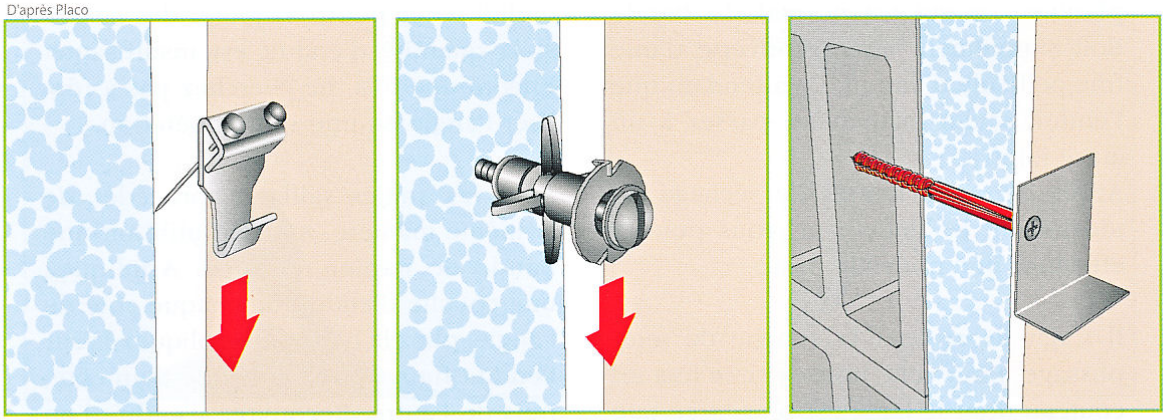
Pour renforcer un angle saillant avec une cornière plastique ou métallique, appliquez de l'enduit adapté de chaque côté de l'angle. Plaquez la cornière dans l'enduit frais, de façon à obtenir un angle parfaitement vertical, en vous aidant au besoin d'une règle. Appliquez une couche d'enduit de chaque côté pour recouvrir le profilé, puis laissez sécher. Grattez les bavures, puis passez une ou plusieurs couches d'enduit de remplissage, puis de finition de part et d'autre de l'angle, en laissant sécher entre chaque passe.

Dans tous les cas, passez une ou plusieurs couches d'enduit sur les têtes de vis et sur les petites rayures ou défaut.
Attendez le séchage complet des joints avant d'appliquer les finitions, soit au moins 48 heures en conditions normales de ventilation et d'hygrométrie.

Pour une finition en papier peint, appliquez au préalable une couche d'impression ou une couche diluée de peinture

Fixations dans les plaques de plâtre

D'après Placo



Fixation légère ≤ 5 kg : utilisez des fixations de type crochet X ou similaire.

Fixation moyenne ≤ 30 kg : utilisez des chevilles métalliques à expansion, avec un entraxe minimal de 60 cm.

Fixation lourde > 30 kg : utilisez des ensembles chevilles et vis spéciales se fixant directement dans la maçonnerie.

Figure 234 : Les fixations dans les plaques de plâtre

glycérophtalique. Si les plaques sont vendues avec une finition, cette étape n'est pas nécessaire.
Pour une mise en peinture, la qualité dépend, selon le DTU 59-1, du niveau recherché : finition C (élémentaire), finition B (courante) ou finition A (soignée). Dans tous les cas l'application d'une couche d'impression est nécessaire. Ensuite, appliquez la peinture de finition en deux couches ou, si nécessaire, passez une ou plusieurs couches d'enduit de finition. Cela est impératif pour obtenir un support parfait, notamment si la peinture est brillante.

Si vous souhaitez poser un carrelage, employez une colle adaptée. Pour les joints avec les sanitaires, choisissez un mastic élastomère. L'écart à respecter avec les sanitaires lors de la pose est d'au moins 5 mm. Pour les parois très exposées (douche à jets, hammam...), une sous-couche d'étanchéité sous carrelage est recommandée, en plus de la protection des plaques hydrofuges. Sur les complexes, vous pouvez poser les plinthes en clouant les pointes en biais. Dans les autres cas, la pose par collage est parfaitement adaptée.

En ce qui concerne les fixations d'objets sur les parois en plaques de plâtre, les charges légères, jusqu'à 5 kg, peuvent être réalisées avec des crochets X. Vous pouvez aussi utiliser des vis et des chevilles adaptées (figure 234).

En utilisant des chevilles à expansion ou à bascule, et en respectant un écart minimum de 40 cm entre chaque point, vous pouvez fixer des charges jusqu'à 30 kg. Vous pouvez aussi effectuer un vissage directement dans les fourrures.
Pour des fixations lourdes, si le doublage est déjà posé, optez pour des ensembles vis et chevilles spéciales de grande longueur qui permettent de se reprendre directement dans la maçonnerie porteuse

Les contre-cloisons maçonnées

© Isover

L'isolation derrière une contre-cloison maçonnée consiste à fixer un isolant sur le mur en contact avec l'extérieur puis, de monter une contre-cloison d'au moins 5 cm d' épaisseur, du sol au plafond. Vous pouvez utiliser divers types d'isolants fibreux (laine de verre, laine de roche ou végétale), en panneaux semi-rigides ou plastiques alvéolaires. Les isolants fibreux doivent être accompagnés d'un pare-vapeur. Veillez à en assurer la continuité à la mise en œuvre des panneaux isolants.
L'isolant ne doit en aucun cas se tasser, car la contre-cloison montée, il ne sera plus accessible. Les performances thermiques risqueront alors d'être dégradées. Selon les conditions de mise en œuvre et les fabricants, plusieurs systèmes de fixation sont possibles.

Si les panneaux d'isolant correspondent à la hauteur d'étage, préférez une fixation mécanique ou composée d'éléments de petite taille, par exemples des panneaux de laine de roche de 1350 x 600 mm. Dans ce cas, la pose collée ou la fixation mécanique sont possibles. Utilisez un mortier-colle, comme pour les complexes isolants. Néanmoins, la paroi doit dans ce cas être homogène, saine et propre. Étalez 3 ou 4 bandes de colle au dos du panneau pour déposer 2 plots de mortier sur chacune. Plaquez et serrez les panneaux verticaux contre le mur, en commençant par la rangée inférieure. Ils doivent être parfaitement jointifs et le pare-vapeur situé du côté chauffé. Vous découperez les panneaux de la rangée supérieure pour les ajuster à la hauteur sous plafond, puis les coller, à joints décalés par rapport à la première rangée. Cette méthode convient pour les panneaux rigides en plastique alvéolaire embrevés.
Ils peuvent également être fixés mécaniquement avec des systèmes traversant, comme les chevilles étoilées. Il faut néanmoins que le diamètre de leur tête soit supérieur ou égal à 90 mm. Placez-les au centre de la moitié supérieure et au centre de la moitié inférieure du panneau, à raison de deux chevilles par panneau. Le mode de pose est similaire à la pose collée (décalage des joints d'une rangée sur l'autre, continuité du pare-vapeur, etc.).

L'emploi de panneaux de hauteur d'étage est plus simple et plus rapide à mettre en œuvre. Il suffit de clouer des pattes de fixation métalliques dans le mur avec des clous à béton dans les joints des petits éléments de maçonnerie. Vous pouvez aussi utiliser des chevilles et des vis adaptées. Pliez les pattes à angle droit, embrochez-y les panneaux d'isolant, puis repliez les extrémités sur l'isolant (figure 235).

Certains fabricants proposent des systèmes légèrement différents utilisant une rosace

Figure 235 : Le maintien de l'isolant au moyen de pattes de fixation

ou autre système pour bloquer l'isolant. Avant de vous lancer, procurez-vous les fixations adaptées à l'épaisseur de l'isolant choisi. Commencez par l'installation des pattes de fixation (figure 236). La première patte doit être située à 0,60 m d'un angle ou d'une huisserie, puis au pas de 1,20 m, sur toute la longueur du mur. Réalisez ensuite des lignes de pattes, en respectant le même écartement, à une distance de 0,60 à 0,80 m de la première ligne. Si le mur est en parpaing, et d'une hauteur sous plafond de 2,50 m, posez la première ligne de pattes dans le joint de la troisième rangée, en partant du bas. Posez une ligne de pattes dans le joint de la troisième rangée en partant du haut, puis une troisième ligne au milieu du mur. Si le mur a une hauteur de 2,70 m, par exemple, prévoyez deux fixations en partie haute et deux fixations en partie basse, par lé d'isolant.

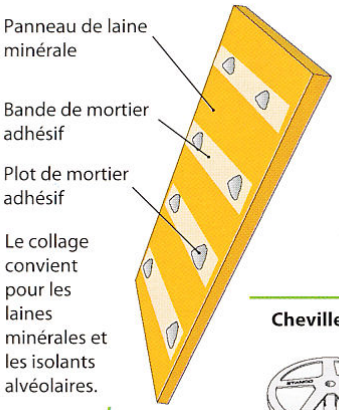
Découpez les panneaux d'isolant semi-rigide à la hauteur d'étage, majorée de 10 à 15 mm. Embrochez-les sur les pattes de fixation. Pliez l'extrémité des pattes ou posez les rosaces, selon les systèmes, pour maintenir l'isolant en place. Ne le comprimez pas trop même s'il doit être parfaitement plaqué au mur. Les panneaux doivent être jointifs, sans espaces au sol et au plafond. Le pare-vapeur est situé du côté chauffé et doit être continu : utilisez du ruban adhésif pare-vapeur entre les lés. Collez-en également sur les extrémités des pattes métalliques. Aux jonctions avec les maçonneries, découpez des bandes de film PE ou PP, collez-les avec l'adhésif du côté kraft et avec un joint de mastic d'étanchéité sur la maçonnerie.

À cette étape, vous pouvez passer les canalisations des réseaux domestiques. Distribuez les gaines électriques sur l'isolant en les maintenant avec du ruban adhésif, le temps de monter la contre-cloison. Il est difficile de les intégrer dans les contre-cloisons elles mêmes, du fait de leur épaisseur réduite, sauf si vous employez des éléments de 7 cm d'épaisseur minimum, mais dans ce cas, au détriment du volume habitable.

Isolation par l'intérieur avec contre-cloison (1/2)

Types de fixation

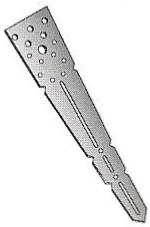
Fixation par collage



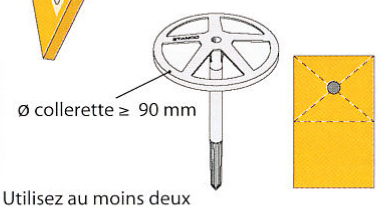
Le collage convient pour les laines minérales et les isolants alvéolaires.

Fixation mécanique

Patte métallique

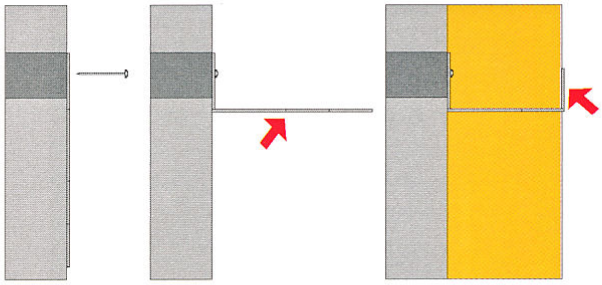


Cheville étoile



Utilisez au moins deux chevilles par panneau dont une dans la partie haute du panneau (centre partie supérieure).

Fixation des pattes métalliques

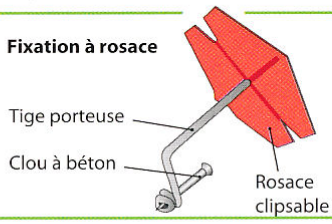


1 - Clouez la patte dans un joint de maçonnerie .

2 - Pliez la patte à 90 ° au niveau de la pliure .

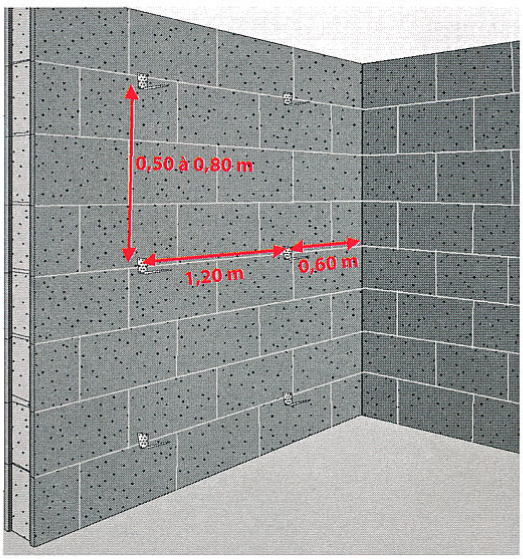
3 - Mettez l'isolant en place, puis repliez l'extrémité de la patte.

Fixation à rosace

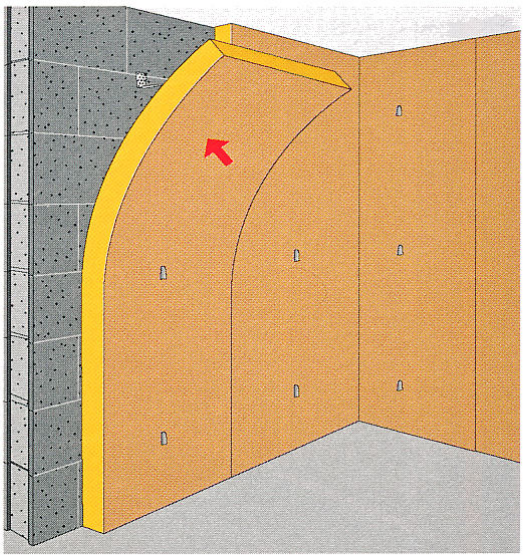


Utilisez deux fixations en partie haute et deux fixations en partie basse de chaque panneau d'isolant. Utilisation pour laine minérale.

Mise en œuvre



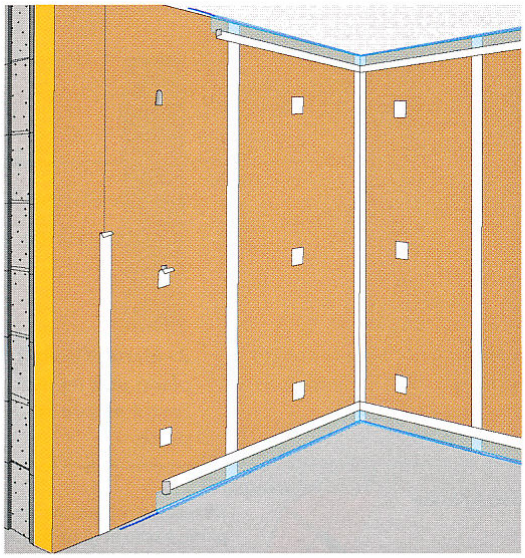
1 - Clouez les pattes de fixation dans les joints de la maçonnerie avec des clous appropriés. Démarrez la pose des pattes à 60 cm d'un angle de la pièce. Posez les fixations tous les 60 à 80 cm. Procédez à la pose d'une seconde rangée espacée de 1,20 m de la première.



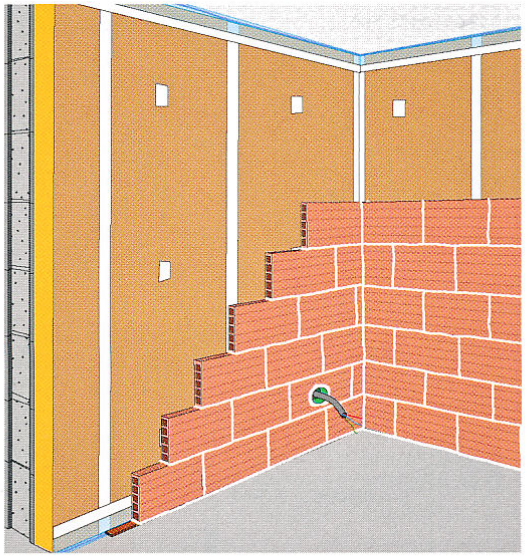
2 - Les lés d'isolant de 1,20 m de large sont coupés de la hauteur d'étage majorée de 1 cm pour un bon maintien et supprimer les courants d'air parasites. Enfichez les panneaux dans les pattes, puis repliez leur extrémité sur l'isolant sans trop le comprimer. Les lés d'isolant doivent être posés parfaitement jointifs.

Figure 236 : L'isolation par l'intérieur avec contre-cloison (1/2)

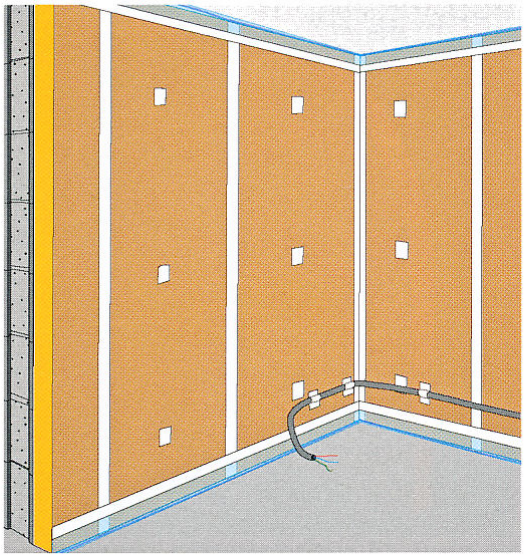
Isolation par l'intérieur avec contre-cloison (2/2)



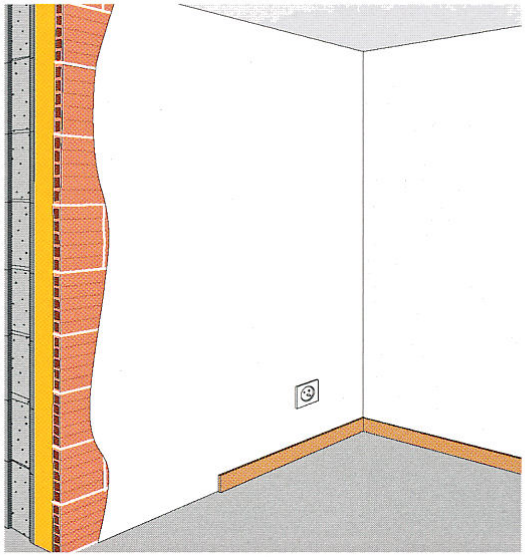
3 - Pour assurer la continuité du pare-vapeur, il convient d'appliquer du ruban adhésif pare-vapeur à la jointure entre les lés et sur l'extrémité des pattes de fixation. En partie haute et basse placez de bandes de PE collées à l'adhésif et au mastic d'étanchéité.



5 - Procédez au montage de la contre-cloison. Vous pouvez utiliser des briques plâtrières, des carreaux de plâtre ou de béton cellulaire ou des parpaings de 5 cm d'épaisseur. La parroi en brique repose sur une bande résiliente pour diminuer la transmission des bruits.



4 - Vous pouvez à cette étape installer les gaines électriques destinées à alimenter la pièce. Elles peuvent être maintenues avec de l'adhésif. Il est également possible de passer les lignes en engravant la contre-cloison, mais sa faible épaisseur n'autorise pas de longs parcours.



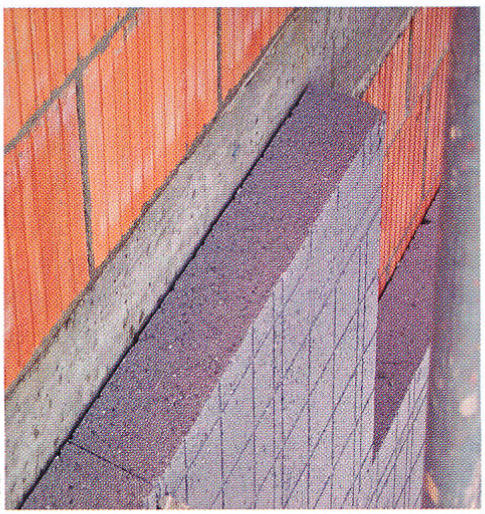
6 - Dans le cas d'une cloison en carreaux de plâtre ou de béton cellulaire, la bande résiliente s'installe en partie haute. Procédez ensuite aux finitions (enduit de plâtre sur briques), pose des plinthes, du matériel électrique, des enduits de lissage…

Figure 236 : L'isolation par l'intérieur avec contre-cloison (2/2)

Veillez à ne pas comprimer l'isolant avec la contre-cloison, respectez un espace de 10 mm. La contre-cloison peut être en briques plâtrières. Pour atténuer les vibrations et les transmissions de bruit, montez-la sur une bande résiliente. Posez les éléments à joints croisés, dans les règles de l'art (DTU 20-1 *Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs*). Vérifiez la planéité et la verticalité à l'avancement.

Lorsqu'elle est terminée, appliquez un enduit traditionnel au plâtre.
Il est aussi tout à fait possible de réaliser une contre-cloison en carreaux de plâtre. Dans ce cas, désolidarisez-la du plafond au moyen d'une bande résiliente afin d'éviter la transmission des bruits.

L'isolation thermique extérieure (ITE)


© BASF

Aussi appelée « mur manteau », l'isolation par l'extérieur d'un mur comprend plusieurs éléments : la paroi porteuse verticale en maçonnerie de petits éléments ou en béton banché, l'isolant thermique, à l'extérieur, le revêtement de protection et de finition et les menuiseries rapportées sur la paroi.
Différentes formes et matières sont possibles pour l'isolant, selon le principe choisi de protection extérieure. Il peut s'agir d'un enduit organique ou hydraulique sur isolant, d'un bardage rapporté, de vêtures ou de vêtages. Vous pouvez également opter pour un revêtement attaché en pierres minces, une façade semi-rideau ou un contre-mur en briques ou double mur. Les possibilités sont donc nombreuses.
L'enduit sur isolant consiste à fixer un isolant, directement sur le mur, qui sert également de support pour un enduit.
Les techniques de bardages rapportés comprennent une ossature fixée au mur porteur et des éléments de parement fixés sur l'ossature. Il peut s'agir d'ardoises, de bardeaux, de tuiles, de clins, etc. On place l'isolant contre la paroi en ménageant une lame d'air avec le bardage.

Les vêtures sont des systèmes non traditionnels mettant en œuvre des éléments qui combinent un isolant, généralement du polystyrène expansé moulé ou extrudé, de la laine de roche ou du polyuréthane, et un parement. L'ensemble est fixé mécaniquement sur la paroi verticale.
Le principe des vêtages est sensiblement le même, mis à part le fait que les éléments n'intègrent pas d'isolant thermique. Celui-ci, rigide et non hydrophile, est posé entre le vêtage et la paroi. Il n'est alors pas nécessaire de ménager une lame d'air.

Les revêtements attachés en pierres minces sont posés sur des pattes ou des attaches directement fixées dans

la façade. L'isolant thermique est alors indépendant, installé directement contre le mur. Une lame d'air est ménagée entre l'isolant et la peau extérieure. Les isolants de feutre semi-rigides et non hydrophiles sont les plus utilisés dans ce cas.

Les façades semi rideau sont adaptées au gros œuvre lourd, généralement en béton banché, avec isolation extérieure et lame d'air. Il s'agit dans la majorité des cas d'une armature métallique supportant des éléments verriers pour les immeubles du tertiaire.

Les mises en œuvre pour ces derniers procédés ne seront pas décrites. En effet, le choix de produits manufacturés et les méthodes d'applications sont vastes. De plus, les maisons individuelles sont surtout concernées par l'isolation support d'enduit, les bardages et le mur double.

L'isolation support d'enduit

Deux solutions sont possibles pour ce type d'isolation : avec un enduit mince à base de liants organiques ou avec un enduit hydraulique.

Dans le cas d'un enduit mince, vous pouvez fixer l'isolant au mur par collage ou par fixation mécanique, avec des profilés ou des connecteurs plastiques. Vous pouvez aussi adopter une solution mixte, calé/chevillé, notamment pour poser de la laine de roche ou si le mur est irrégulier (figure 237). Un treillis en fibre de verre (figure 238) est noyé dans une couche de sous-enduit appliqué directement sur l'isolant. La finition est généralement un revêtement plastique épais (RPE) ou une couche d'enduit avec projection de granulats fins.

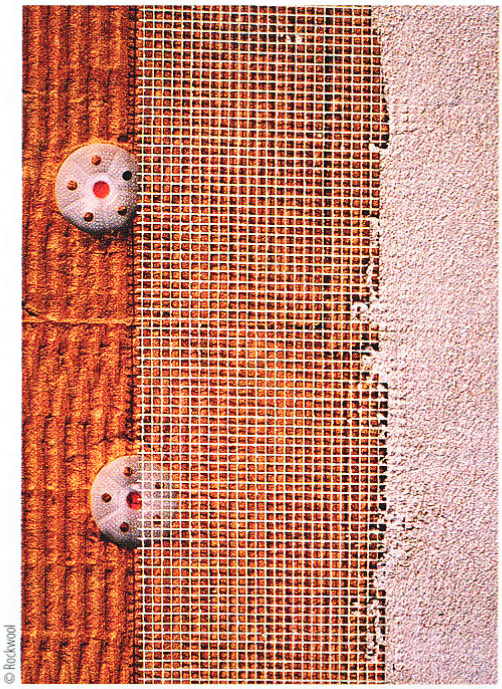


Figure 237 : ITE avec panneaux de laine de roche

Dans le cas d'un enduit épais, collez l'isolant au mur support ou fixez-le mécaniquement au moyen de chevilles étoile expansives, en polyéthylène ou en polypropylène (figure 239). Vous pouvez renforcer le collage grâce à des chevilles (méthode de fixation calé/chevillé). Utilisez des panneaux en polystyrène expansé, pourvus de rainures en queue d'aronde sur la face destinée à recevoir l'enduit, ou des complexes en fibragglos.

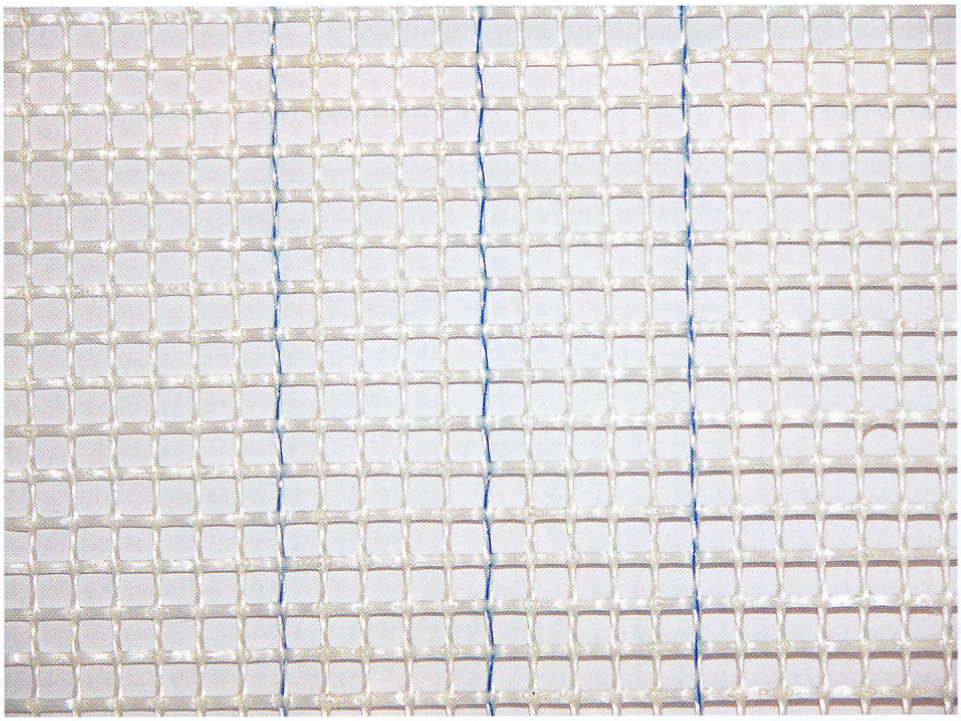


Figure 238 : Exemple de treillis en fibres de verre

Renforcez l'enduit par une armature métallique ou en fibres de verre. Vous pouvez aussi ajouter des fibres de verre directement dans l'enduit afin de créer une armature. La finition peut être brute de projection, écrasée ou grattée, avec des épaisseurs comprises entre 2 et 14 mm. Par exemple, vous pouvez choisir un enduit frotté, tyrolien de 3 mm, un enduit à la truelle de 7 mm, ou un enduit gratté de 10 mm.

Pour la pose collée, plusieurs solutions sont possibles comme indiqué à la figure 240 : le collage en plein, le collage par plots, le collage par boudins et le calé/chevillé. Dans chaque cas, utilisez un mortier-colle adapté.
Le collage en plein est adapté aux surfaces offrant une parfaite planéité. Les petits défauts de planéité doivent demeurer inférieurs à 1 cm. Appliquez le mortier-colle à la spatule crantée sur toute la surface du panneau isolant, sauf sur les bords, où vous laisserez libre une bande de 1 cm. Cette précaution évite de faire refluer le mortier-colle dans les joints lorsque vous plaquez la plaque contre la paroi. Pour appliquer le mortier-colle, utilisez une taloche crantée (crans de 6 à 10 mm).
Si le support présente une surface irrégulière ou des défauts de planéité jusqu'à 1 cm, vous pouvez opter pour le collage par plots ou par boudins.
Dans le premier cas, répartissez des plots de mortier-colle d'épaisseur régulière sur toute la surface du panneau, en respectant un minimum de 16 plots par m^2.
Pour le collage par boudins, déposez un boudin non continu mais d'épaisseur régulière sur le pourtour du panneau, en retrait, à 2 cm des bords. Le boudin ne doit pas être continu, car il ferait effet

Les méthodes de fixation d'un isolant support d'enduit

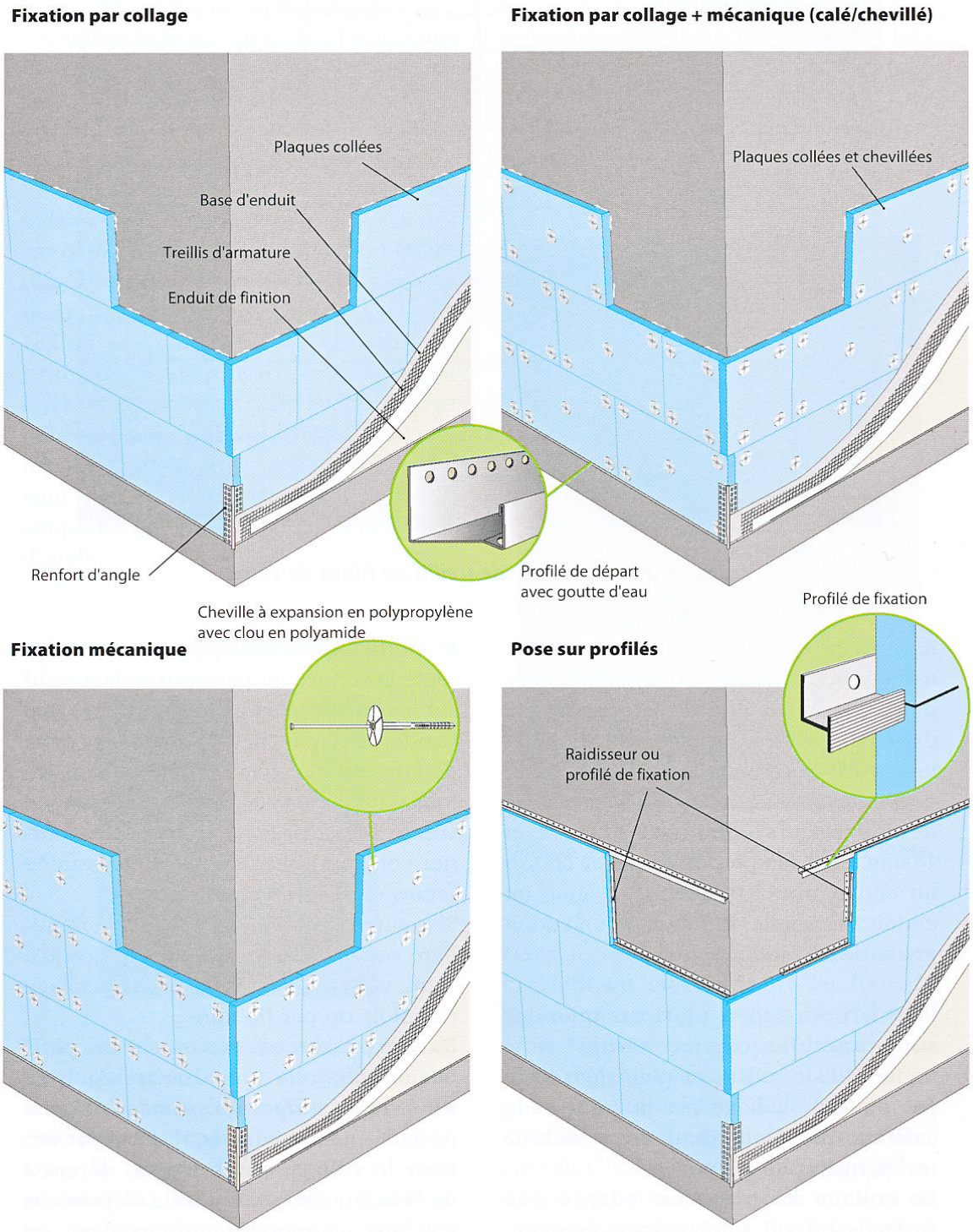
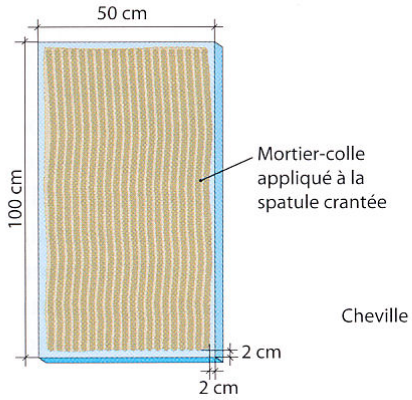


Figure 239 : Les méthodes de fixation d'un isolant support d'enduit

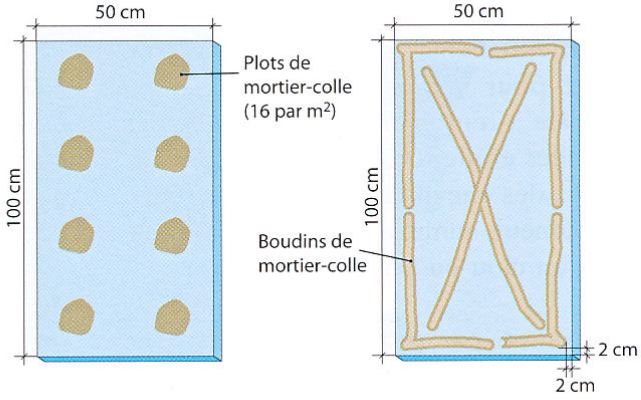
Recommandations pour la fixation des plaques de polystyrène

Fixation par collage

Support de bonne planéité

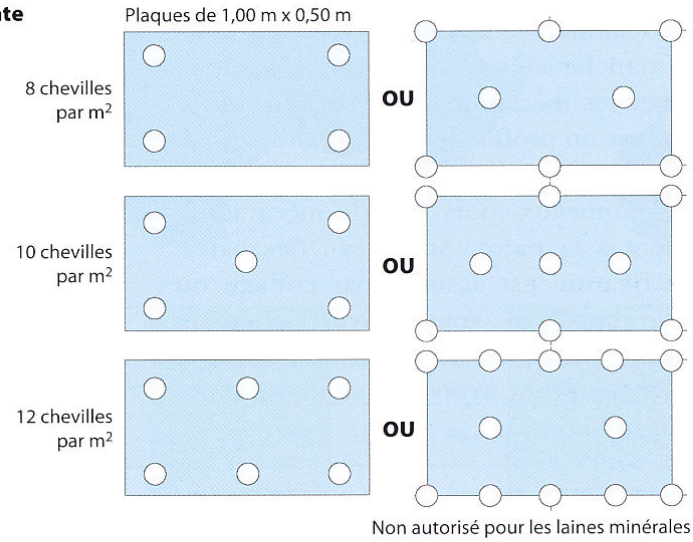


Support avec irrégularités et écarts de planéité jusqu'à 1 cm



Fixation mécanique en partie courante

Nombre de chevilles par m²	Dépression maximale sous vent normal (Pa) (avec chevilles à tête Ø 50 ou 60 mm)
8	**700**
10	**850**
12	**1 050**



Non autorisé pour les laines minérales

Fixation par profilés

Fixation des plaques par profilés horizontaux et :	Dimensions des plaques (mm)	Dépression maximale sous vent normal (PA)
des profilés de jonction verticaux (raidisseurs)	500 x 500	700
des profilés de maintien verticaux d'au moins 20 cm avec une fixation au milieu	500 x 500	1 100
des profilés de maintien verticaux de 40 à 43 cm avec 2 fixations espacées de 30 cm	500 x 500	1 675

Fixation «calé chevillé»

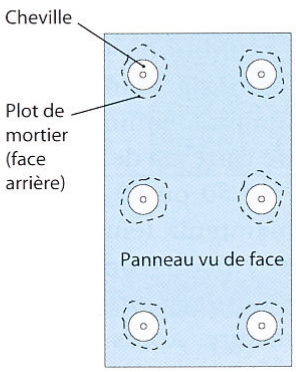


Figure 240 : Les recommandations pour la fixation des isolants

ventouse lors du plaquage. Au centre du panneau, déposez deux boudins croisés ou des plots.
Si le support est très irrégulier ou si les désaffleurements sont supérieurs à 1 cm, optez pour la pose calé/chevillé, qui consiste à renforcer le collage avec des chevilles étoile. Dans les plots de colle, placez des chevilles étoile dont la tête a un diamètre minimal de 50, 60 ou 90 mm, avec un clou ou une vis d'expansion.

La fixation par profilés s'effectue avec des éléments en PVC. La première rangée de panneaux repose sur le profilé de départ situé en bas. Placez les profilés de maintien vertical, ou raidisseurs, dans la tranche latérale de chaque panneau et fixez-les mécaniquement au mur. Introduisez un profilé de maintien horizontal dans la rainure supérieure de la rangée de panneaux, puis fixez-le mécaniquement à la paroi. Au niveau des baies, la fixation est assurée par collage ou par chevillage. Vous pouvez également poser un profilé de départ, en position inverse, après avoir réalisé une rainure sur le panneau.

La fixation par chevilles est valable uniquement si le support est suffisamment régulier (défauts inférieurs à 1 cm).
Le nombre de chevilles à utiliser dépend des conditions d'exposition au vent (figure 241). Dans le meilleur des cas, le nombre minimum de chevilles par mètre carré est de 8, avec un diamètre de tête de 50 ou 60 mm. Pour positionner et maintenir temporairement les panneaux, placez une seule cheville dans leur partie haute, qui sera donc sous l'armature. Après la pose de l'armature, placez les autres chevilles selon la documentation du produit ou selon son Avis Technique.

La fixation avec profilés dépend également de l'exposition au vent de l'habitation. Seule la solution collée ne prend pas en compte cette contrainte.

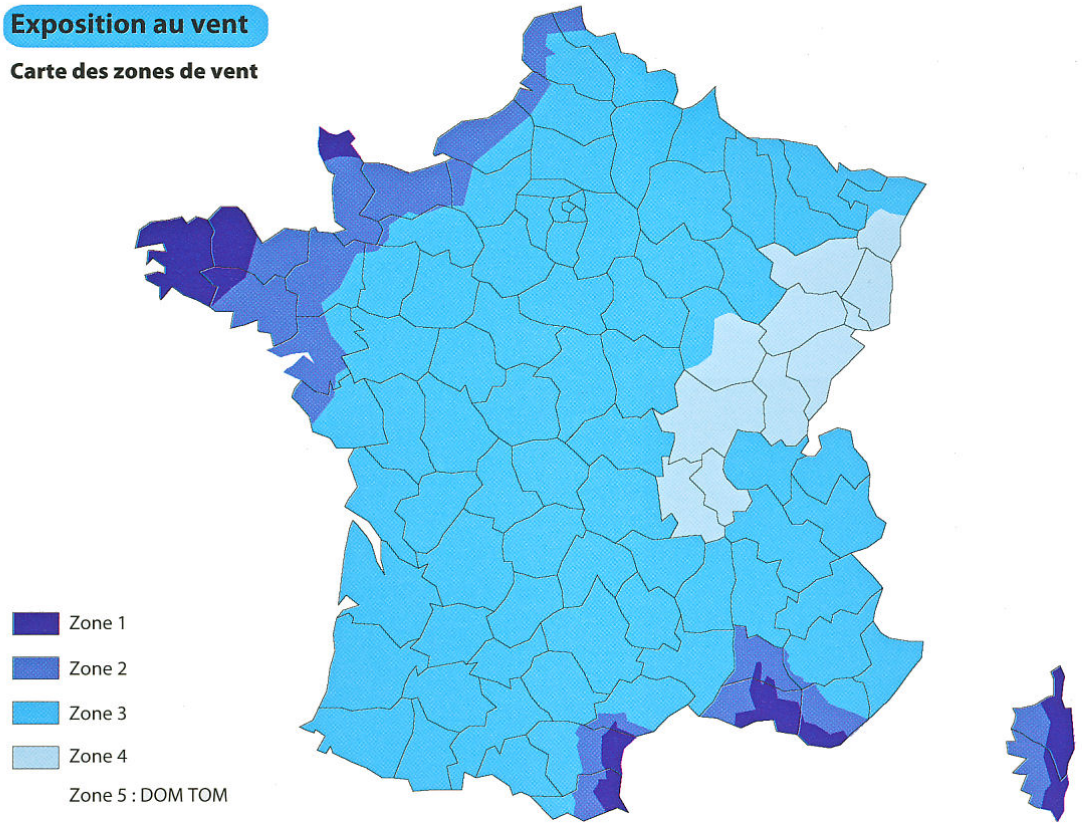
L'ITE avec support d'enduit mince

Cette solution convient pour de nombreux types de façades neuves ou anciennes. Pour une construction neuve, elles peuvent être en béton brut de granulats courants ou légers, en petits éléments de maçonnerie et enduites au mortier de liants hydrauliques (blocs de béton, briques, moellons, béton cellulaire). Elles peuvent aussi être en petits éléments de maçonnerie et non enduites. Dans l'ancien, les parois pouvant adopter cette solution sont les murs de béton banché non revêtus et les maçonneries non enduites. Il peut s'agir également de maçonneries de petits éléments ou de béton enduits, peints ou revêtus de revêtements organiques, de panneaux préfabriqués en béton ou de revêtements minéraux comme le carrelage, le grès cérame...
Vous pouvez choisir un isolant en polystyrène expansé graphité ou non (ignifugé), de la laine de roche spéciale à face durcie ou des panneaux de fibres de bois prévus à cet effet. Les isolants (figure 242) doivent répondre à un Avis Technique qui les caractérise pour cet usage.

Pour les supports neufs, seule la pose collée est admise. La surface doit être propre, régulière, saine et ne pas ressuer l'humidité. Après la fin du gros œuvre, si la maçonnerie est en petits éléments, il convient de respecter un délai de 30 jours avant de poser l'ITE. Si la paroi est en béton, ce délai atteint 45 jours. Dans le cas d'une construction en béton banché, assurez-vous que le produit de

Exposition au vent

Carte des zones de vent



Exposition au vent

Site normal		Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée
Hauteur du bâtiment (en m)	< 15	F1	F1	F1	F1	F1	F2	F1	F2	F1	F3
	< 20	F1	F1	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F2	F3

Site exposé		Zone 1		Zone 2		Zone 3		Zone 4		Zone 5	
		Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée	Partie courante	Partie exposée
Hauteur du bâtiment (en m)	< 10	F1	F1	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F2	F3
	< 15	F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F3	F2	F3

On entend par parties exposées les rives de toitures et les arêtes verticales.

Valeur de dépression sous vent normal selon les contraintes

Classification d'exposition au vent	F1	F2	F3
Dépression maximale sous vent normal (Pa)	700	1 100	1 675

Figure 241 : Les expositions au vent

Figure 242 : L'isolation en PSE graphite pour l'ITE sous enduit mince

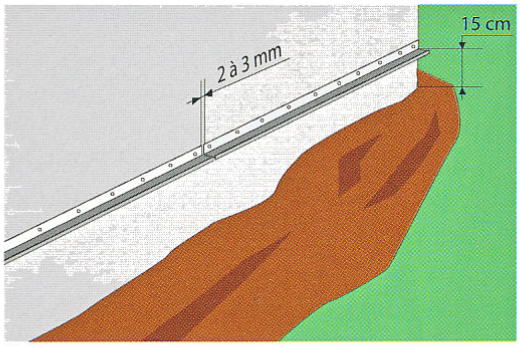
décoffrage n'affectera pas l'adhérence du mortier-colle.

Sur les supports anciens, la pose collée est possible uniquement si le revêtement minéral existant est adhérent et ne présente pas de dégradations importantes. Rebouchez les lézardes existantes. Les parties qui renvoient un son creux lorsqu'on tape dessus doivent être déposées et rebouchées. Si la paroi est peinte ou revêtue d'un revêtement d'imperméabilité, d'un revêtement plastique épais (RPE) ou d'un revêtement semi-épais (RSE), vous devez les décaper avec un procédé chimique, thermique ou mécanique. Dans le cas d'un revêtement carrelé, décapez tout produit appliqué antérieurement. Réalisez des tests d'adhérence avant de réaliser la pose de l'isolant.

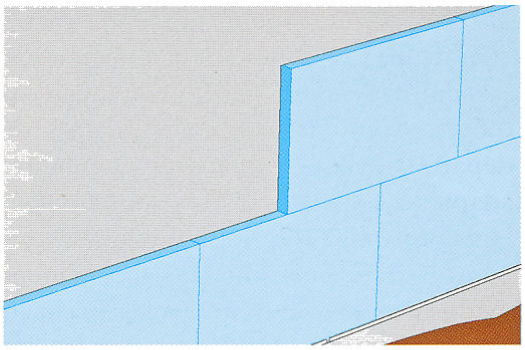
Si la fixation est mécanique, il n'est pas utile de décaper la paroi. En revanche, il faut sonder toute les surfaces enduites. Piquez et réparez les zones non adhérentes.

La pose collée (figure 243) ne doit pas avoir lieu par temps de pluie et nécessite

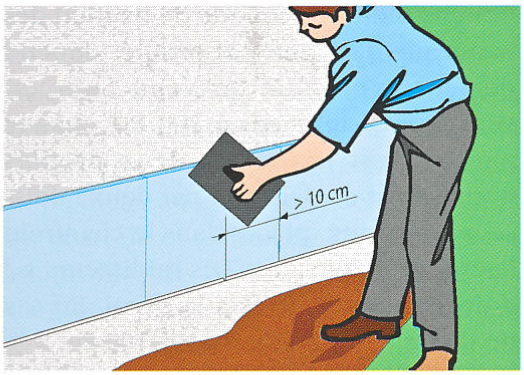
Pose collée de panneaux de polystyrène



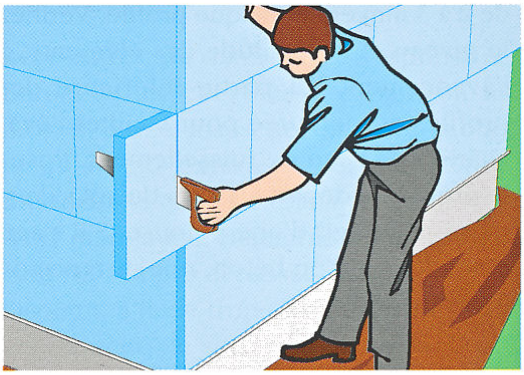
1 - *Après préparation éventuelle du support, fixez les profilés de départ sur le mur à environ 15 cm du point le plus haut du sol. Respectez un espace de 2 à 3 mm entre chaque profilé pour la dilatation.*



4 - *Continuez la pose d'une nouvelle rangée en décalant les joints, façon coupe de pierre. Veillez à ce que les panneaux soient posés parfaitement jointifs et que la colle ne reflue pas dans les joints.*



2 - *Encollez les panneaux, puis posez la première rangée en appui sur le rail de départ. Décalez les joints entre panneaux d'au moins 10 cm des raccords des profilés. Frappez et pressez les panneaux avec une taloche.*



5 - *Réalisez les découpes et les ajustements des panneaux au niveau des angles et des baies. Calfeutrez avec des chutes d'isolant les plaques aux coins cassés ou les joints de plus de 2 mm.*

3 - *Contrôlez la planéité avec une règle en aluminium de 2 m. Répètez cette oprération après la pose de chaque rangée.*

6 - *Poncez la surface avec une taloche abrasive pour réduire tout affleurement. Dépoussièrez, puis appliquez l'enduit selon les recommandations du fabricant.*

Figure 243 : La pose collée de panneaux de polystyrène

une température extérieure adaptée, comprise entre 5 et 30 °C. Le support ne doit pas être gelé, gorgé d'eau ou chauffé par le plein soleil. Installez un échafaudage pour faciliter la mise en œuvre. Approvisionnez des profilés de départ, souvent en alliage d'aluminium, adaptés à l'épaisseur des panneaux isolants. Installez-les horizontalement en partie basse, puis fixez-les mécaniquement, avec une fixation tous les 30 cm au maximum et distante de plus de 5 cm des extrémités. Employez de préférence des vis électrozinguées. Afin de permettre la dilatation, respectez un espace minimal de 2 à 3 mm entre chaque profilé. Vérifiez le niveau et la rectitude des éléments, à l'avancement. La partie inférieure des profilés est nervurée pour faciliter l'évacuation de l'eau de ruissellement. Posez le profilé de départ à 15 cm du sol s'il est nu ou s'il s'agit d'une pelouse. S'il s'agit de dalles ou d'un béton, une distance de 5 cm est indiquée.

Encollez les panneaux d'isolant, puis posez la première rangée sur les profilés de départ. Décalez les joints entre les plaques en respectant une distance d'au moins 10 cm d'un joint du profilé de départ. Appliquez chaque panneau contre le mur, en le frappant et en le plaquant au moyen d'un bouclier ou d'une taloche. Contrôlez l'alignement à l'avancement. Posez la deuxième rangée à joints décalés par rapport à la première. Dans les angles rentrants ou saillants, harpez les panneaux. Pour la découpe, attendez le séchage de la colle. Il en va de même pour la découpe des panneaux dans les angles des baies. Veillez à ne pas créer de raccord vertical entre panneaux dans l'alignement des tableaux des fenêtres. En cas de dégradation mineure comme des coins cassés ou des joints ouverts, calfeutrez-les avec des chutes d'isolant. Après séchage de la colle, pour éliminer tout défaut d'affleurement, poncez la surface au moyen d'une taloche abrasive. Enfin brossez la surface pour la dépoussiérer. Réalisez l'enduisage dans un bref délai après la pose de l'isolant, afin de réduire le risque de poudrage, qui se produit généralement à partir de 4 jours d'ensoleillement. Si cela se produit, il convient de poncer de nouveau toute la surface.

Les étapes de la mise en œuvre par collage sont présentées à la figure 244.
Comme indiqué, le mode de fixation des panneaux d'isolants par profilés dépend de leur exposition au vent. Sous un vent normal inférieur à 700 Pa, chaque panneau est fixé entre deux profilés horizontaux et maintenu par deux raidisseurs verticaux, placés dans le chanfrein latéral des panneaux. Les raidisseurs ne doivent pas être fixés à la paroi. En cas de dépression inférieure à 1 100 Pa, à la place utilisez des raidisseurs de profilé de maintien verticaux, d'une longueur d'au moins 20 cm et fixés mécaniquement par une fixation centrale. Enfin pour des dépressions sous vent jusqu'à 1 675 Pa, utilisez des profilés verticaux de 30 cm de longueur et au moins deux points de fixation. Ces indications conviennent pour les panneaux de 500 x 500 mm ou de 1000 x 500 mm.

Commencez par fixer les profilés de départ (figure 245) comme dans la solution précédente. Posez le premier panneau, par exemple à partir d'un angle, sur le profilé de départ, puis placez le dispositif de fixation latérale. Continuez de la même façon pour la première rangée. Veillez à décaler les joints des panneaux et ceux des profilés de départ.

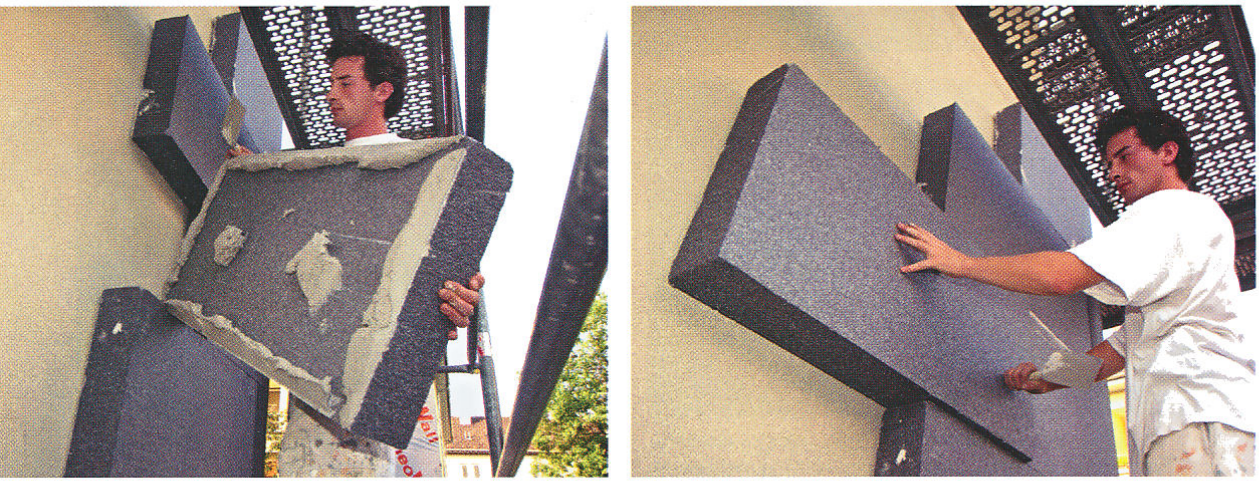


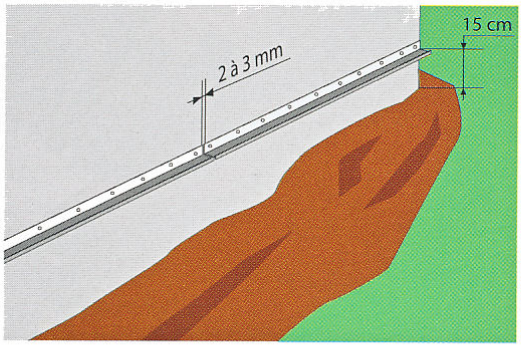
Figure 244 : Exemple de pose de panneaux de PSE par collage

Lorsque la première rangée est terminée, insérez les profilés horizontaux dans la rainure supérieure des panneaux de la précédente rangée, puis fixez-les mécaniquement au mur. Respectez toujours un écart de dilatation de 2 à 3 mm entre les profilés. Ils doivent être fixés au pas de 30 cm maximum et au moins à 5 cm des extrémités. Vérifiez l'alignement des profilés et des panneaux d'isolant. Débutez la pose du rang suivant de la même manière, en décalant les joints entre panneaux, façon coupe de pierre. Réalisez les divers calfeutrements éventuels et les raccords avec les menuiseries. Vous pouvez ensuite appliquer l'enduit.

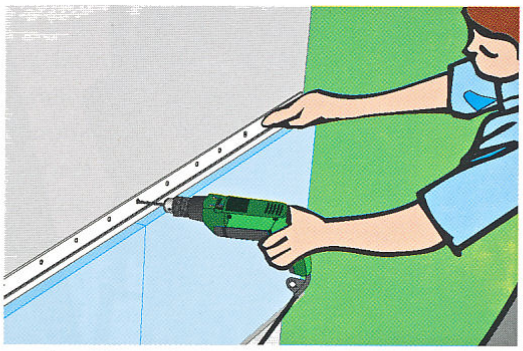
Pour effectuer une pose calée/chevillée, procédez comme suit. L'étape initiale, analogue aux deux précédentes solutions, consiste à poser les profilés de départ. L'étape suivante se déroule comme pour les panneaux collés, avec la pose des plots de colle. Laissez sécher environ 10 heures, puis poncez les panneaux avec une taloche abrasive. Ensuite, posez les chevilles étoiles (figure 246). Percez les panneaux d'isolant et le mur en fonction du nombre de chevilles nécessaires, au diamètre correspondant. Enfoncez les chevilles à expansion au moyen d'une massette en caoutchouc, jusqu'au nu extérieur des panneaux. Enfoncez le clou d'expansion au moyen d'un marteau. L'ensemble cheville plus clou ne doit pas dépasser de la surface de l'isolant. S'il est trop enfoncé, appliquez une couche de sous-enduit sur la tête. Laissez sécher entre 12 heures et 3 jours avant de réaliser l'enduit.

Pour la réalisation de l'enduit conformez-vous aux recommandations de l'Avis Technique du système d'ITE choisi. Les méthodes de pose varient d'un fabricant à l'autre, cependant elles respectent des points communs à tous les systèmes. Le même produit sert souvent de mortier de collage et d'enduit de fond ou de base. Commencez par placer des bandes de renfort dans les angles des baies. Choisissez des bandes d'armature de 0,30 x 0,30 m collées avec de l'enduit de base (figure 247). De la même manière, posez les systèmes de renfort d'angles, toujours sous l'armature. Installez également des renforts aux jointures des profilés de départ.

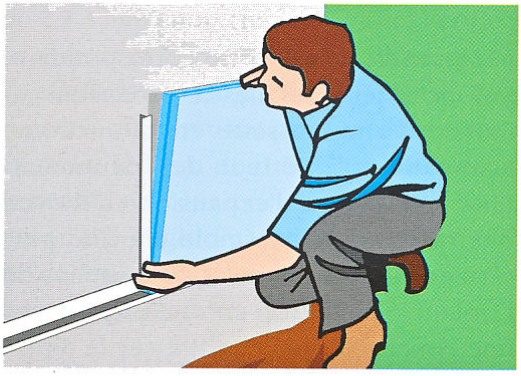
Pose de panneaux de polystyrène avec profilés



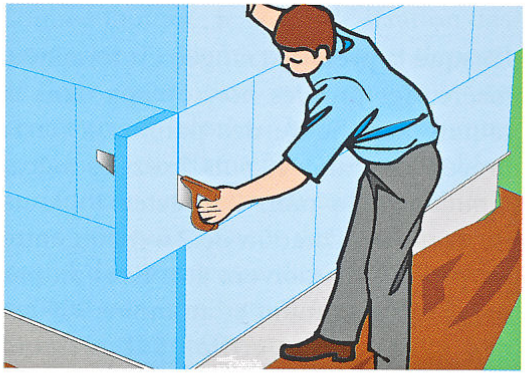
1 - *Après préparation éventuelle du support, fixez les profilés de départ sur le mur à environ 15 cm du point le plus haut du sol. Respectez un espace de 2 à 3 mm entre chaque profilé pour la dilatation.*



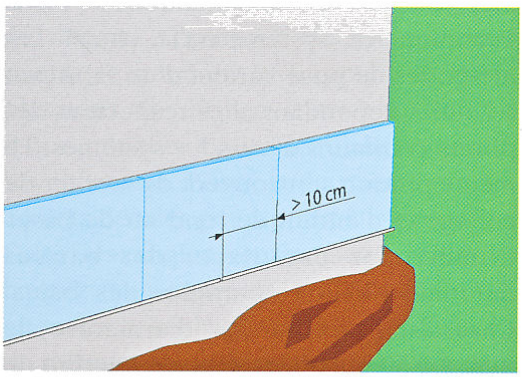
4 - *Placez les profilés horizontaux dans la rainure supérieure de la rangée de panneaux inférieurs. Fixez-les mécaniquement à la paroi en respectant également un écart de 2 à 3 mm entre chaque profilé.*



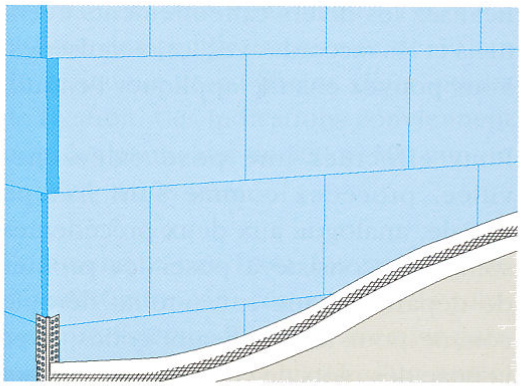
2 - *Posez le premier panneau sur le profilé de départ. Placez le profilé vertical choisi (raidisseur simple ou profilé avec fixation) selon le degré d'exposition au vent de la façade dans la rainure latérale.*



5 - *Réalisez les découpes et les ajustements des panneaux au niveau des angles et des baies. Calfeutrez avec des chutes d'isolant les plaques aux coins cassés ou les joints de plus de 2 mm.*



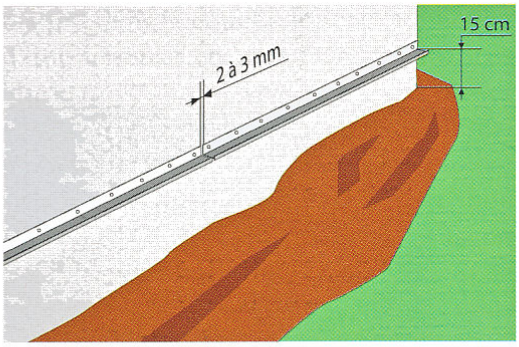
3 - *Continuez la pose du premier rang. Décalez d'au moins 10 cm les raccords de panneaux de ceux du profilé de départ.*



6 - *Appliquez l'enduit (selon les recommandations de l'Avis Technique) rapidement après la pose des panneaux pour éviter les risques de poudrage.*

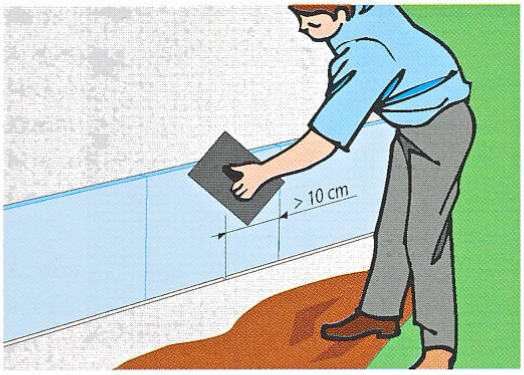
Figure 245 : La pose des panneaux de polystyrène avec profilés

Pose calée/chevillée de panneaux de polystyrène



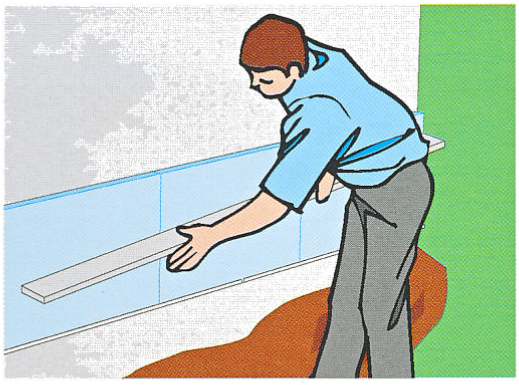
1 - *Après préparation éventuelle du support, fixez les profilés de départ sur le mur à environ 15 cm du point le plus haut du sol. Respectez un espace de 2 à 3 mm entre chaque profilé pour la dilatation.*

4 - *Après collage, effectuez les découpes aux angles et aux baies. Laissez sécher la colle environ 10 heures (selon l'Avis Technique). Poncez les panneaux à la taloche abrasive.*

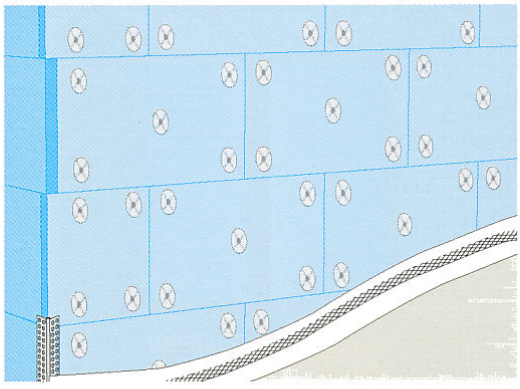


2 - *Encollez les panneaux, puis posez la première rangée en appui sur le rail de départ. Décalez les joints entre panneaux d'au moins 10 cm des raccords des profilés. Frappez et pressez les panneaux avec une taloche.*

5 - *Percez les trous des chevilles selon l'Avis Technique. Mettez-les avec un marteau en caoutchouc. Enfoncez les clous d'expansion dans les chevilles. L'ensemble cheville et clou ne doit pas dépasser de la surface de l'isolant.*



3 - *Contrôlez la planéité avec une règle en aluminium de 2 m. Répétez cette oprération après la pose de chaque rangée. Posez tous les panneaux.*

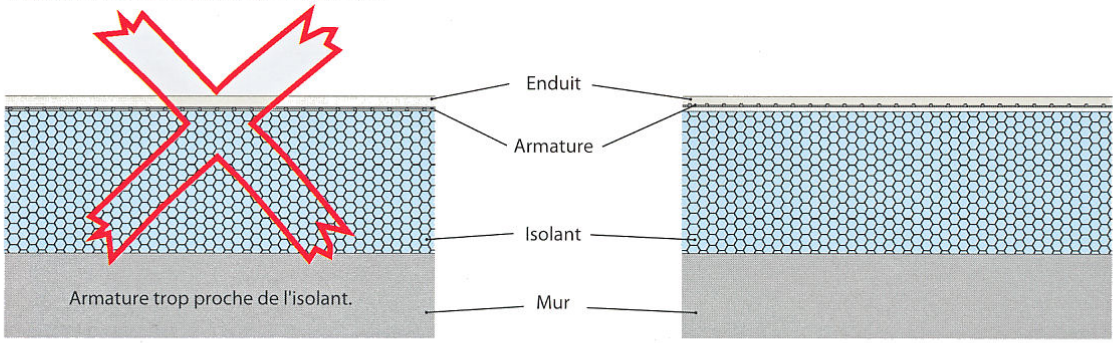


6 - *Laissez sécher la paroi isolée de 12 heures à 3 jours, puis procédez à l'application de l'enduit selon les prescriptions du fabricant.*

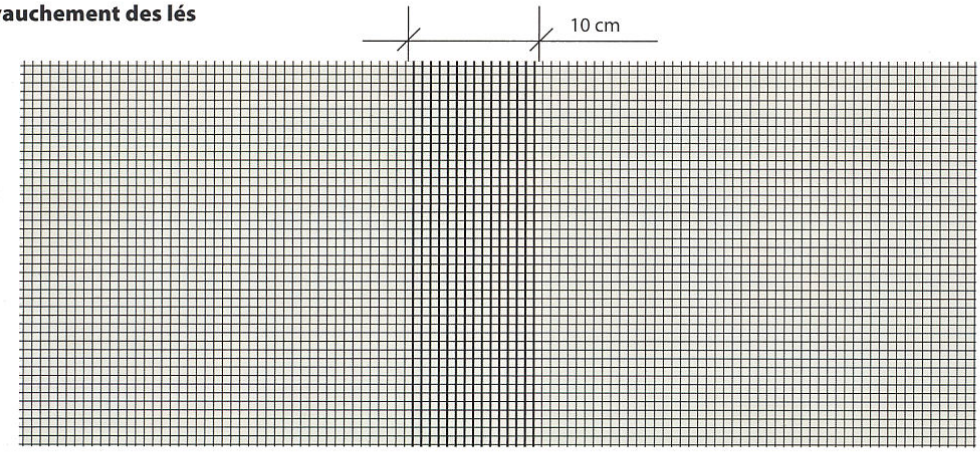
Figure 246 : La pose calée/chevillée de panneaux de polystyrène

Conseils de pose du treillis d'armature

Position de l'armature dans l'enduit

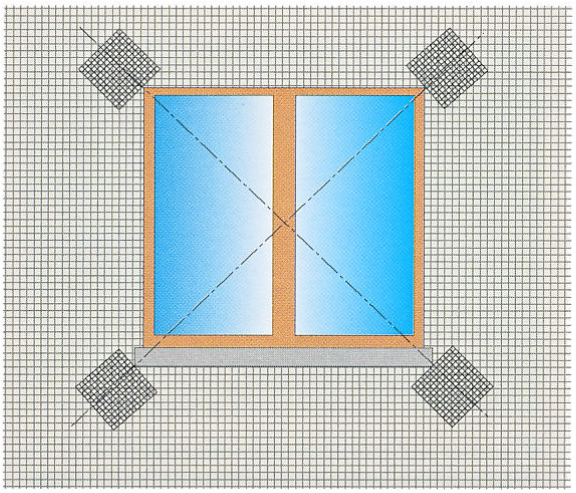


Chevauchement des lés



Renforts d'armature

Renforcement des angles des ouvertures avec plaques de trame de 0,30 m x 0,30 m perpendiculaires aux diagonales.



Renforcement des angles supérieurs des tableaux

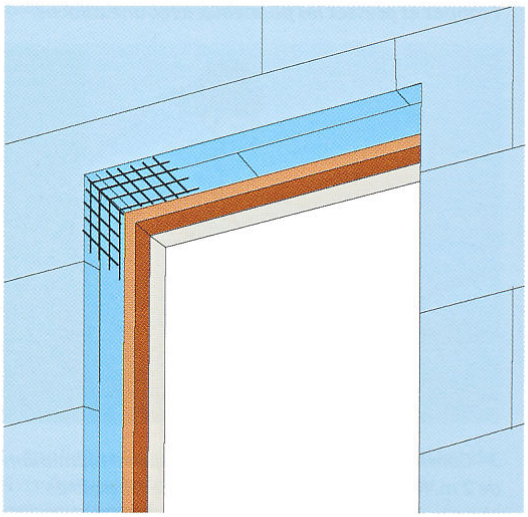


Figure 247 : Les conseils de pose du treillis d'armature

Après installation des renforts, enduisez la surface des panneaux et marouflez l'armature dans la couche fraîche, au moyen d'une lisseuse en inox (figure 248). Les lés de treillis armé doivent se chevaucher sur 10 cm. Ne posez pas l'armature directement sur l'isolant. Lorsque la première couche a durci, appliquez une seconde couche serrée d'enduit de base, de façon à enrober totalement l'armature. Si le mur est particulièrement exposé, vous pouvez poser deux couches d'armatures, sur une hauteur minimale de 2 m. Pour ce faire, procédez comme suit. Après séchage de la première couche d'enduit, dans laquelle a été marouflée la première armature, répétez l'opération avec une seconde couche d'enduit et la seconde armature. Vous pouvez également poser une armature renforcée en premier, puis une seconde armature normale.

Après séchage de la couche armée, soit après 24 heures au minimum, appliquez un produit d'impression au rouleau et/ou à la brosse. Le lendemain, appliquez le revêtement de finition.
Sous une règle de 2 m, les défauts de planéité ne doivent pas être supérieurs à 7 mm.

L'ITE avec support d'enduit épais

Rappelons que ce système nécessite des panneaux isolants spécifiques rainurés en queue d'aronde en face avant. Cela est nécessaire pour le parfait accrochage de l'enduit hydraulique. Les conditions de mise en œuvre selon le support sont les mêmes que celles des ITE pour enduits minces.
Installez également des profilés de départ par fixation mécanique, en partie basse de la construction. Selon le type de support et sa planéité, vous pouvez réaliser la pose des panneaux par collage, par fixation mécanique ou en calé/chevillé. Dans ce cas, la pose sur profilés n'est pas autorisée.

Lorsque les panneaux isolants sont posés, fixez un treillis métallique maintenu dans leur partie supérieure au moyen de chevilles et d'agrafes ou de cavaliers. Les lés de treillis doivent se chevaucher sur une largeur d'au moins six mailles. Fixez des renforts de 50 x 30 cm au niveau des angles des baies. C'est également à cette étape qu'il faut fixer les renforts d'angle. Au niveau des tableaux d'ouvertures, découpez le treillis selon deux diagonales, passant par le centre de la fenêtre.

© Rockwool

Figure 248 :
Le marouflage de l'armature dans l'enduit

Découpez à la mesure, rabattez sur les tableaux et fixez. Appliquez l'enduit au moyen d'une machine à projeter avec une passe de 9 mm environ. Après 24 heures, vous pouvez appliquer la finition, par projection pneumatique et selon la finition choisie.

Les détails constructifs communs à toutes les solutions d'ITE

La mise en œuvre des menuiseries extérieures, de tout type, est sensiblement la même dans tous les cas. Elles doivent être posées avant l'isolation. Toutefois les menuiseries en bois sont déconseillées au nu extérieur des murs.
En rénovation, pour améliorer les performances thermiques, il est judicieux de prévoir le remplacement des menuiseries.

La mise en œuvre doit être soignée et respecter les règles de l'art. Il est primordial d'assurer l'étanchéité à l'air et à l'eau entre le dormant des menuiseries et le gros œuvre.
Lorsque l'isolant s'arrête au droit de la menuiserie, il convient d'assurer l'étanchéité à l'eau à la jonction avec le parement de l'isolation.
Pour une menuiserie au nu extérieur du gros œuvre (figure 249), assurez l'arrêt de l'isolant en partie haute et au niveau des tableaux, au moyen de profilés de départ ou autres. Il est préférable que l'isolant vienne légèrement en recouvrement du dormant de la menuiserie. Assurez l'étanchéité à l'eau et à l'air entre les profilés et la menuiserie. En partie haute, le profilé doit avoir une forme en goutte d'eau, afin de canaliser les ruissellements de la façade. Des orifices en partie inférieure permettent d'évacuer les eaux éventuelles d'infiltration. Pour l'appui, placez une bavette rapportée avec son profil d'étanchéité à l'eau, d'une pente minimale de 10 %. Le profilé de tableau doit recouvrir la bavette sur une largeur de 50 mm au minimum. Elle doit disposer d'un relevé (oreille latérale) destiné à empêcher la pénétration de l'eau. Elle doit présenter un débord de 30 mm minimum du mur fini, et avoir un profil en goutte d'eau.
Les menuiseries installées en applique, au nu extérieur du gros œuvre, nécessitent quelques précautions. Il est impératif de prévoir une évacuation pour les éventuelles eaux d'infiltration grâce à un profilé d'arrêt haut qui assurera le drainage.

Les montants du dormant doivent disposer d'un profil intégré ou rapporté. De même, la bavette peut être intégrée ou rapportée. Assurez l'étanchéité à l'eau entre tous les éléments et la menuiserie.
Apportez également un soin tout particulier à l'étanchéité à l'air aux jonctions entre blocs-baies et gros œuvre. Vous pouvez la réaliser du côté intérieur, mais il est alors préférable de la réaliser également au nu extérieur. Le profil des blocs-baies permet la collecte et l'évacuation des eaux infiltrées.

Pour les menuiseries en tableau, au nu intérieur, prévoyez d'habiller les tableaux avec un retour d'isolant. En effet, si cette partie n'est pas isolée, il y aura des ponts thermiques à ces endroits. En rénovation, cela pose problème et selon la largeur du dormant, vous devrez peut être opter pour un isolant moins épais ou plus performant. Assurez l'étanchéité à l'air et à l'eau entre le parement de l'isolation et le dormant de la menuiserie. Le retour d'isolant doit se faire également au niveau de l'allège. Pour cela, placez une bavette rapportée avec des relevés

ITE et menuiseries

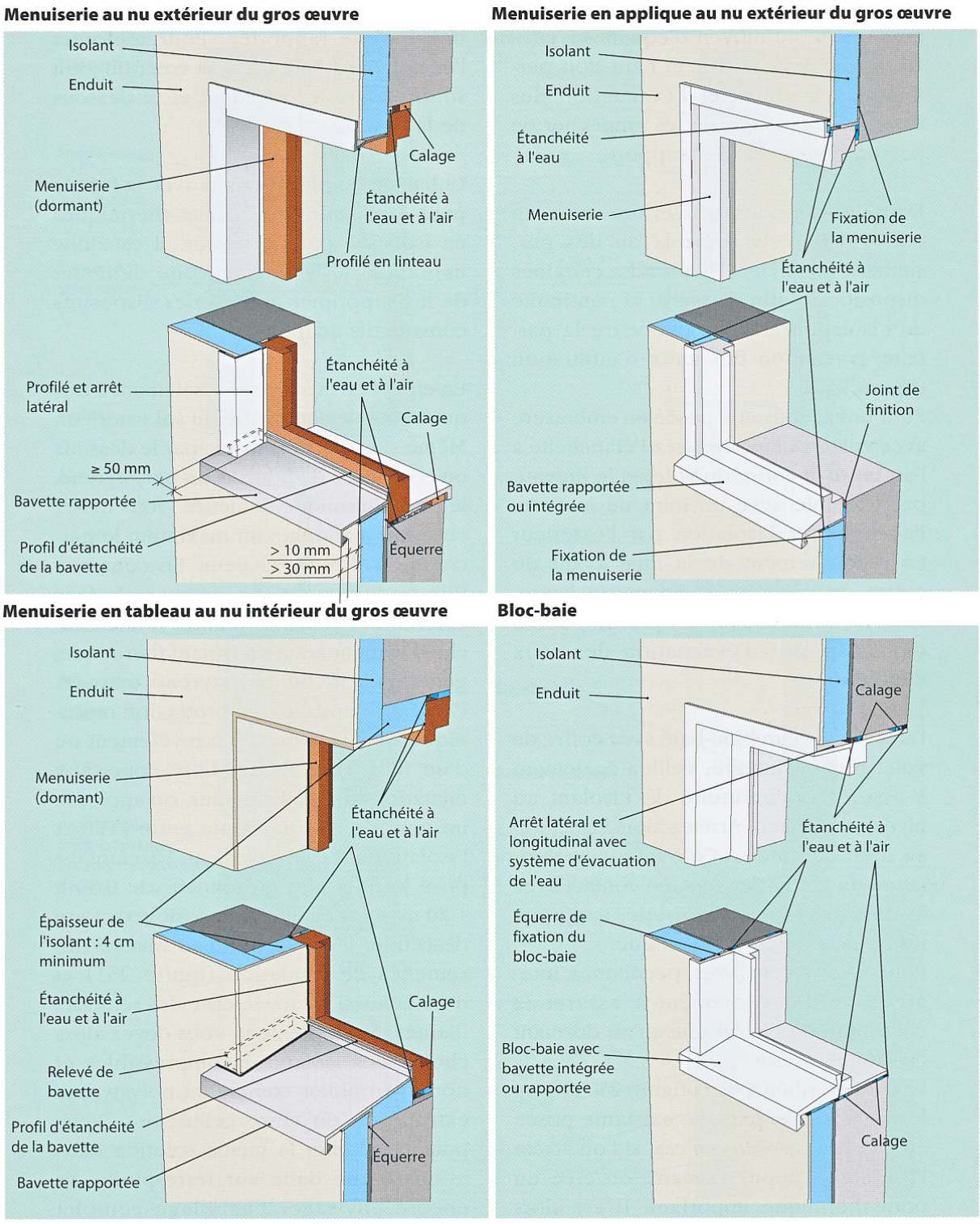


Figure 249 : L'ITE et les menuiseries

latéraux, disposés derrière l'isolant ou derrière le revêtement. Fixez-la dans le gros œuvre au moyen d'équerres.
Dans tous les cas, l'arrêt haut doit permettre la collecte et l'évacuation des eaux infiltrées, afin de les empêcher de parvenir jusqu'au mur support.

Dans le cas d'une ouverture avec un coffre de volets roulants ou des persiennes, il convient de prendre certaines dispositions, afin d'assurer la continuité de l'isolation et pour permettre la parfaite évacuation des eaux d'infiltration (figure 250).
Pour une menuiserie posée en embrasure avec volet roulant, réalisez l'étanchéité à l'air entre le coffre du volet et le linteau, par exemple avec un joint de mousse. Faites arriver l'isolation par l'extérieur en recouvrement de la face avant du coffre de volet isolé. En partie haute, réalisez un arrêt avec un profilé pourvu d'un dispositif d'évacuation des eaux d'infiltration.

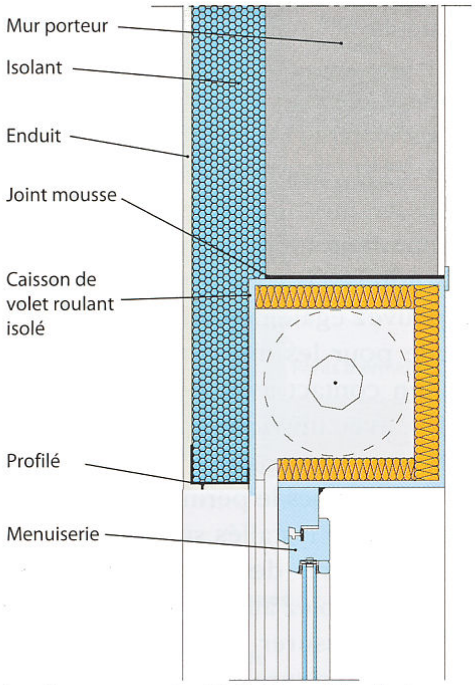
Dans le cas d'un bloc-baie avec coffre de volet roulant intégré, veillez également à assurer la continuité de l'isolant au niveau du linteau. Arrêtez alors l'isolation au droit du linteau. Côté intérieur, l'isolation du coffre de volet, en contact avec le dormant de la menuiserie, supprime les risques de pont thermique.
Pour un système avec persiennes intégrées, veillez également à assurer la continuité de l'isolant jusqu'au dormant de la menuiserie.
Le dernier schéma de la figure 250 illustre le cas d'une menuiserie existante posée en embrasure. Dans ce cas, si l'on arrête l'ITE sous l'appui existant, on crée un pont thermique important. Il est alors préférable de le recouvrir et de l'isoler, en partie supérieure, jusqu'au dormant de la menuiserie. Pour créer la nouvelle protection de l'appui, on peut poser une bavette rapportée. Pour renforcer l'étanchéité à l'air, on peut créer un joint souple entre le parement et le dessous de la bavette.

La liaison du plancher bas avec la façade peut être source de ponts thermiques en isolation par l'extérieur. Il est donc important de les limiter voire de tenter de les supprimer grâce à des dispositifs constructifs adaptés.

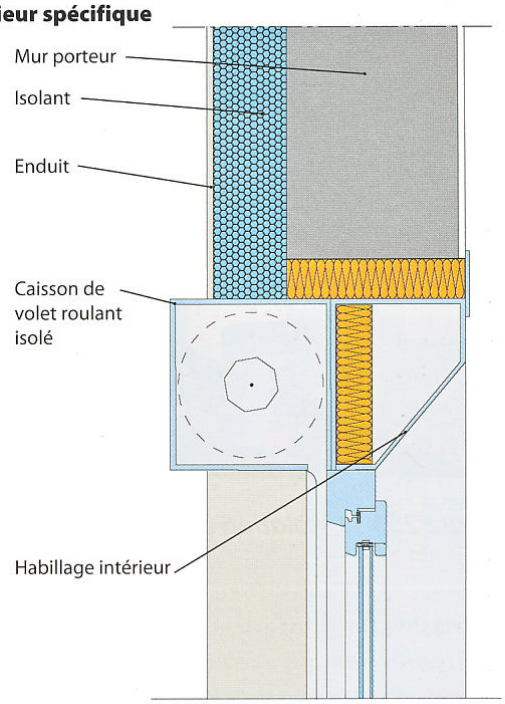
En effet, l'ITE s'arrête généralement à une quinzaine de centimètre du sol extérieur. Même si la dalle est isolée par le dessous ou composée de hourdis en polystyrène, le pont thermique demeure. Vous devez chercher à allonger au maximum le parcours du flux de chaleur. En construction traditionnelle, on recouvre la face externe des semelles filantes d'une couche d'étanchéité, d'un isolant thermique, généralement du polystyrène extrudé. On réalise ensuite une protection mécanique sous la forme d'un revêtement ou d'un film. Pour laisser libre cours aux dilatations dimensionnelles, on applique un joint de mastic souple entre l'ITE et l'isolation du soubassement. L'isolant est posé jusqu'à une profondeur de 0,50 à 1,20 m. Il est également possible de faire descendre l'isolant jusqu'au niveau des semelles de fondation (figure 251) et d'isoler aussi la face interne des semelles filantes. Naturellement, vous devez alors choisir des isolants incompressibles et non hydrophiles comme du polystyrène extrudé ou du verre cellulaire... Vous pouvez adopter la même solution dans le cas d'une dalle sur terre-plein, ou encore envisager l'habillage complet des semelles filantes pour un projet neuf (voir page 524).

ITE et systèmes de volets

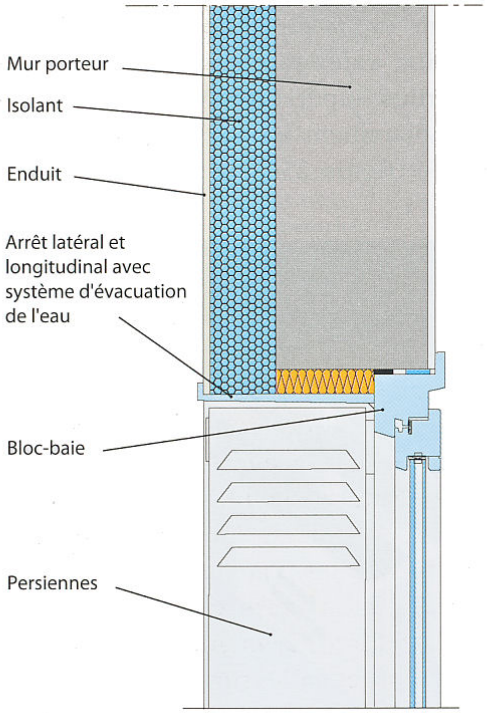
Bloc baie avec volet roulant intérieur



Bloc baie avec volet roulant extérieur et habillage intérieur spécifique



Volets battants articulés fixés au bloc-baie



Exemple en rénovation avec menuiserie existante

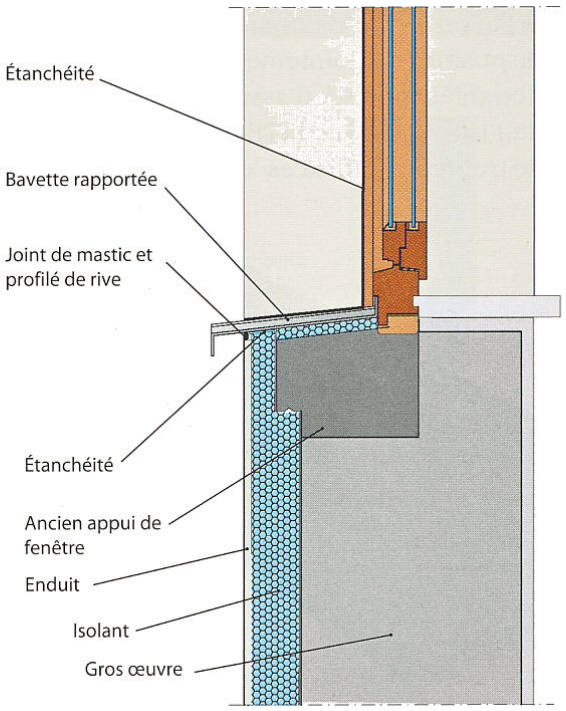


Figure 250 : L'ITE et les systèmes de volets

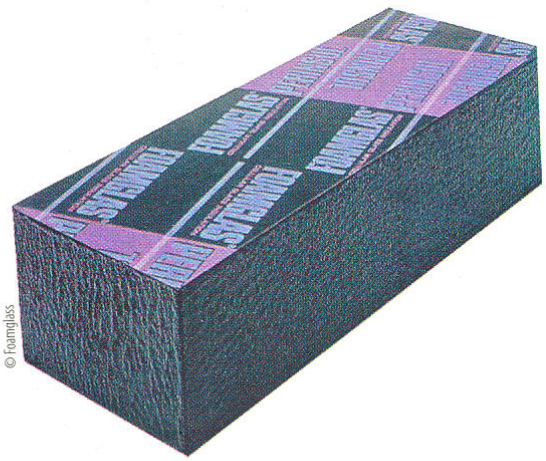
© Eurima

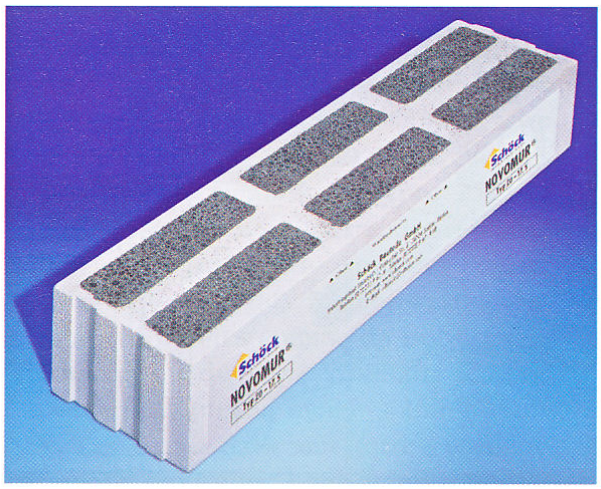
Figure 251 : L'isolation des fondations

Dans le cas d'un projet de construction neuve, vous pouvez également opter pour des éléments de construction isolants (figure 252) pour réaliser les premiers rangs des parois verticales. Ce dispositif, conjointement à des chapes flottantes, permet d'assurer la continuité de l'isolation avec l'ITE et de faire office de rupteurs efficaces de ponts thermiques. Pour cela, vous pouvez utiliser du verre cellulaire ou autre. Le procédé est valable pour de nombreux systèmes constructifs.

Réalisez le premier rang des futurs murs en blocs isolants en utilisant du mortier (figure 253). Appliquez une nouvelle couche de mortier pour accueillir le deuxième rang en éléments constructifs traditionnels (briques, parpaings...). Vous pouvez également utiliser la même méthode pour les murs de refend intérieurs, en contact avec des locaux non chauffés, avec un vide sanitaire ou pour plancher sur terre-plein.
Si le type de blocs le permet, ils peuvent également être installés sur les semelles filantes et servir de support de dalle. Dans ce cas, isolez aussi la dalle en sous-face, afin d'assurer la continuité avec l'isolation extérieure.

Il est important de veiller aussi à ce que l'isolation extérieure soit continue avec les parties supérieures de la construction, notamment les toitures. Si elle est inclinée (figure 254), la solution la plus


© Foamglass



© Schoek-Novomur

Figure 252 : Les blocs rupteurs de ponts thermiques

Isolation thermique par l'extérieur et soubassements

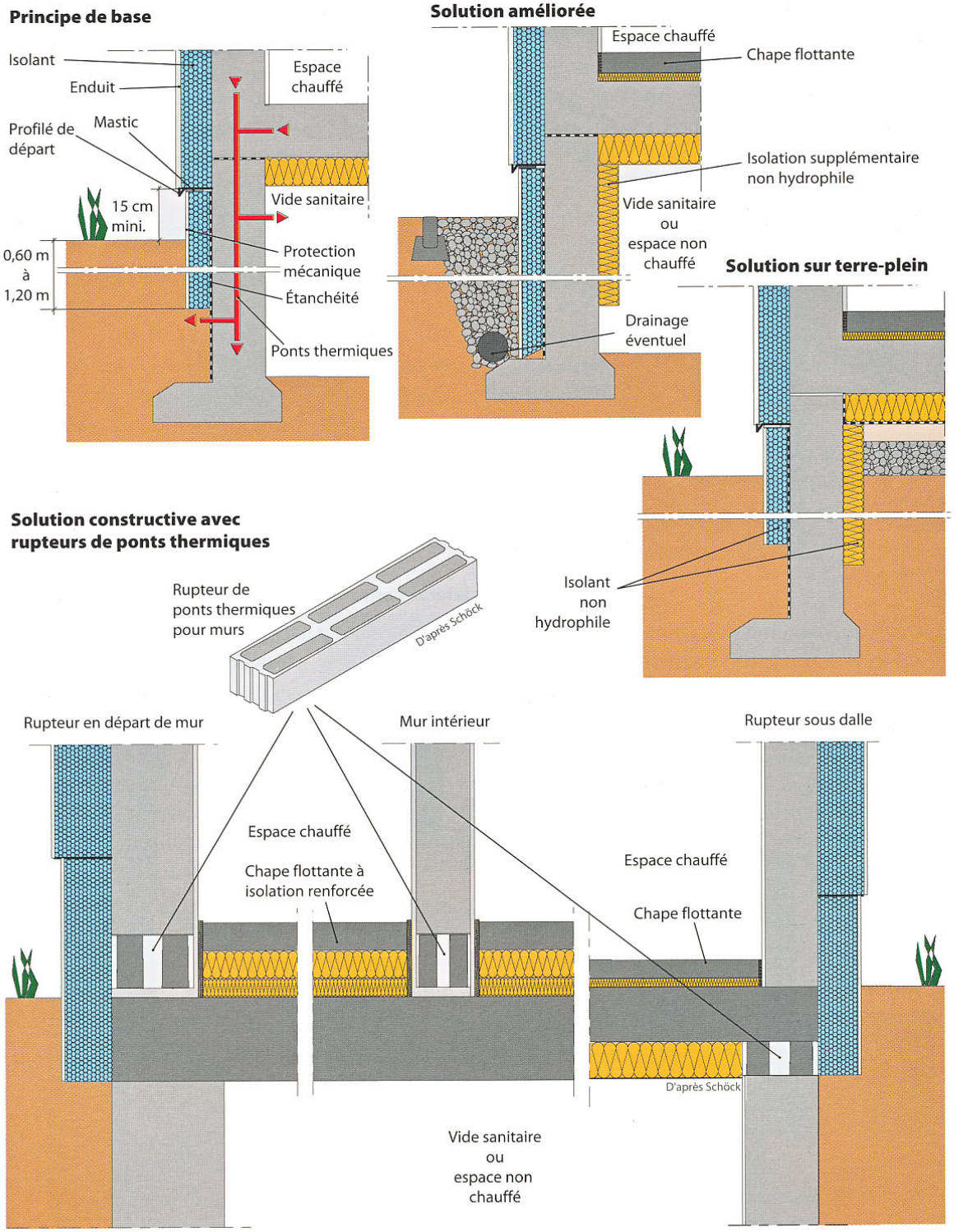


Figure 253 : L'isolation thermique par l'extérieur et les soubassements

Isolation thermique par l'extérieur et liaison avec la toiture

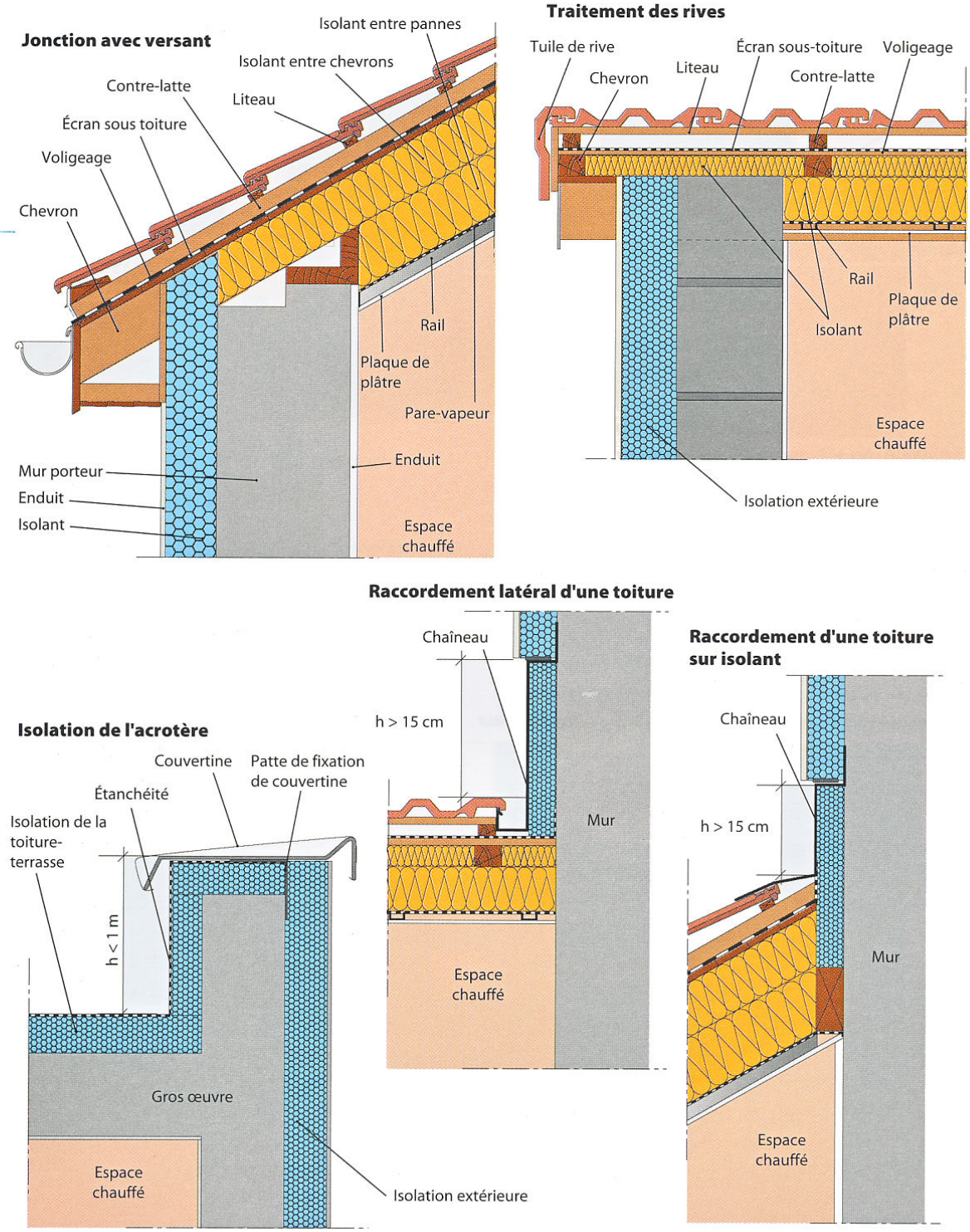


Figure 254 : L'ITE et la liaison avec la toiture

efficace consiste à placer l'isolant extérieur en contact avec celui des combles aménagés ou non. Par exemple, avec une isolation en double couche, l'une entre chevrons et l'autre sous chevrons, vous prolongerez l'isolant entre chevrons au-dessus du mur pour venir en contact avec l'isolant extérieur. La toiture se compose ainsi : un voligeage, un écran sous toiture, un contre-chevronnage, des liteaux et la couverture. Veillez à respecter la ventilation de la couverture.

Pour les rives, il est nécessaire que l'isolant posé entre les chevrons passe au-dessus du mur pignon pour venir en contact avec l'isolant extérieur. Protégez la sous-face avec un voligeage.
Dans le cas d'une toiture-terrasse, par nature isolée par le dessus, pour assurer la continuité de l'isolation, procédez comme suit. Remontez l'isolant et l'étanchéité de la terrasse sur l'acrotère. Sur sa face supérieure, réalisez une couvertine pour la protection. Fixez-la mécaniquement dans l'acrotère au moyen de pattes de fixation.

En cas de raccordement latéral avec une toiture, arrêtez l'ITE à une hauteur de 15 cm au-dessus de la couverture. Pour assurer la continuité de l'isolant, placez un polystyrène extrudé entre l'ITE et le voligeage. Pour l'évacuation des eaux de pluie, réalisez un chéneau en zinc. Fixez-le mécaniquement au mur, sous l'ITE, en le faisant arriver en recouvrement de l'isolant situé en dessous. Repliez-le sous les éléments de couverture. Pour le raccordement avec une toiture en pente, adoptez une solution similaire, mis à part le fait que, pour évacuer les eaux de ruissellement, le chéneau doit venir en recouvrement des éléments de couverture.

Considérons à présent quelques points singuliers. Avant la pose du treillis d'armature dans les angles saillants, collez une cornière ou un profilé avec de l'enduit de fond (figure 255). Un angle rentrant ne nécessite pas de dispositions particulières.

Pour un arrêt dans un angle rentrant, n'oubliez pas de ménager un espace de dilatation entre l'isolant et le gros œuvre. Comblez-le avec un joint de mousse imprégnée ou avec un profilé et un joint souple. Désolidarisez également l'enduit de la paroi adjacente.

Pour effectuer un arrêt dans un angle, utilisez un profilé. Fixez-le mécaniquement au gros œuvre avant la mise en place des panneaux isolants. Réalisez l'étanchéité à l'air entre le profilé et le mur avec un joint de mastic.
Dans les cas courants, on réalise généralement les arrêts de l'isolant au moyen de profilés.

Au niveau des joints de dilatation du gros œuvre, il est impératif d'interrompre l'isolation par l'extérieur. Pour masquer l'interstice, installez un couvre-joint après avoir appliqué l'enduit.
En ce qui concerne les volets battants, il est difficile de fixer les gonds de manière traditionnelle. Vous devez utiliser des gonds munis de pattes de fixation allongées à fixer sur la façade et sur le tableau de l'ouverture. Vous isolerez ensuite le tableau en prenant en compte le débattement du volet.

L'enduit sur ossature bois

Les constructions bois aussi peuvent recevoir un enduit extérieur. Dans ce cas, il faut remplacer les panneaux extérieurs classiques par des panneaux de fibres de

Les points singuliers de l'isolation thermique par l'extérieur

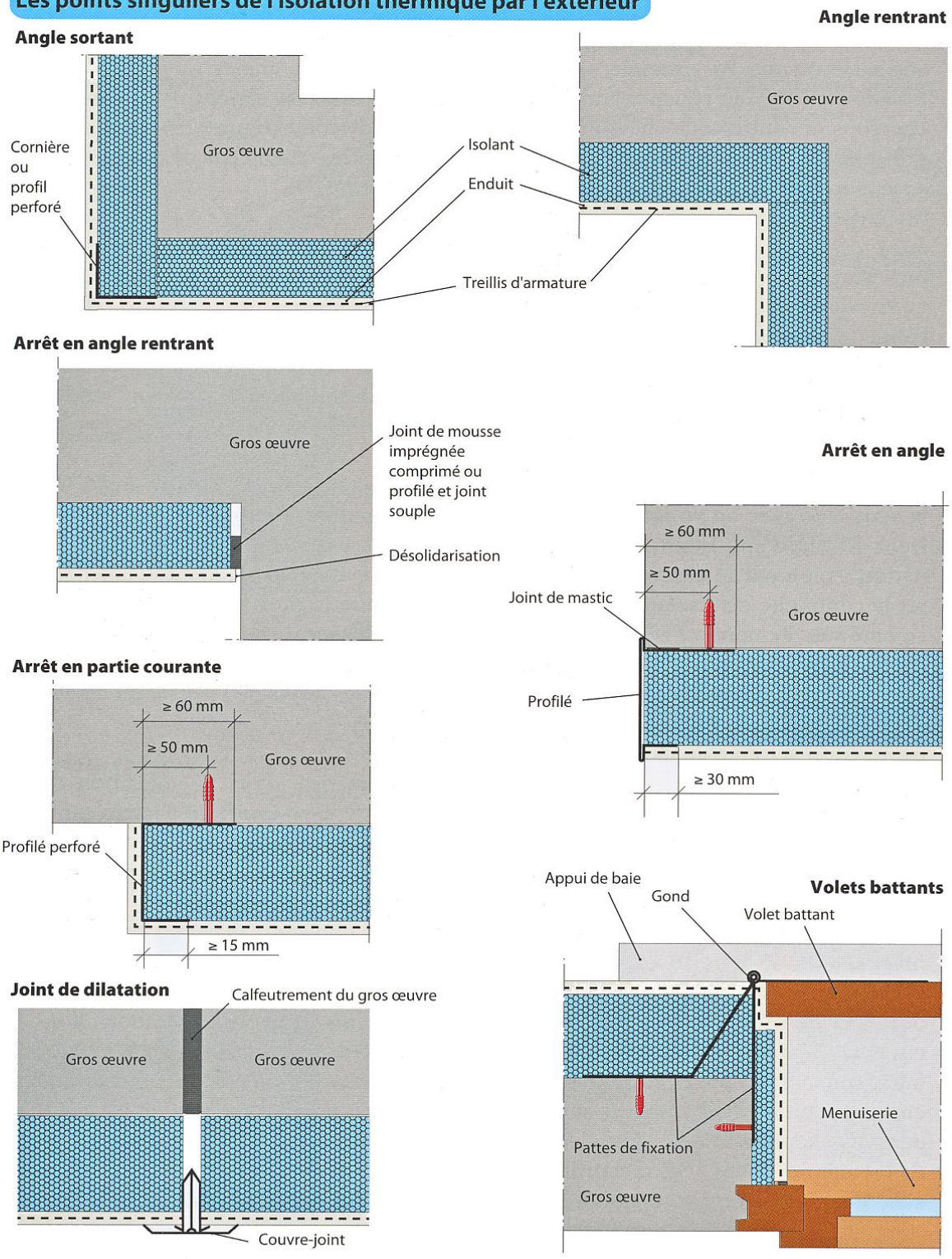


Figure 255 : Les points singuliers de l'ITE

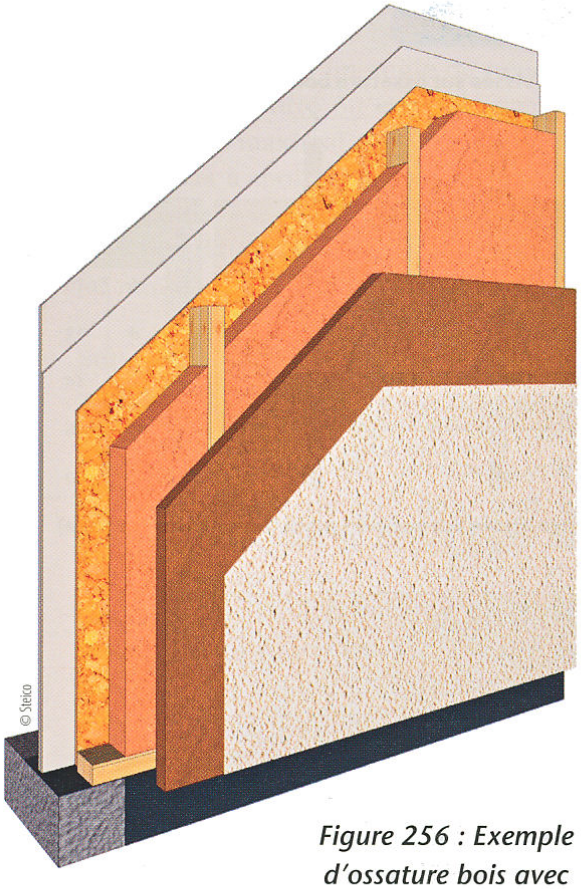


Figure 256 : Exemple d'ossature bois avec parement enduit

bois adaptés à cet emploi (figure 256). Les autres parties de la structure ne sont en rien modifiées : ossature verticale avec isolation thermique entre les montants, panneaux OSB pour le renfort du contreventement et plaques de plâtre. Les panneaux support doivent être capables d'assurer la protection contre la pluie, de supporter un enduit organique et un complément d'isolation thermique. Le contreventement intérieur peut avoir la fonction d'étanchéité à l'air en plus de celle du renforcement.

Ce type de panneaux est disponible dans différentes épaisseurs selon les performances recherchées. Ils sont munis de rainures et de languettes (figure 257). La méthode consiste à appliquer une couche d'accrochage, un treillis d'armature, une couche de fond, un crépi, une couche de finition, puis une protection.

Cela convient également pour un contreventement, une construction en bois massif et même des parois en maçonnerie. Vous pouvez aussi envisager la

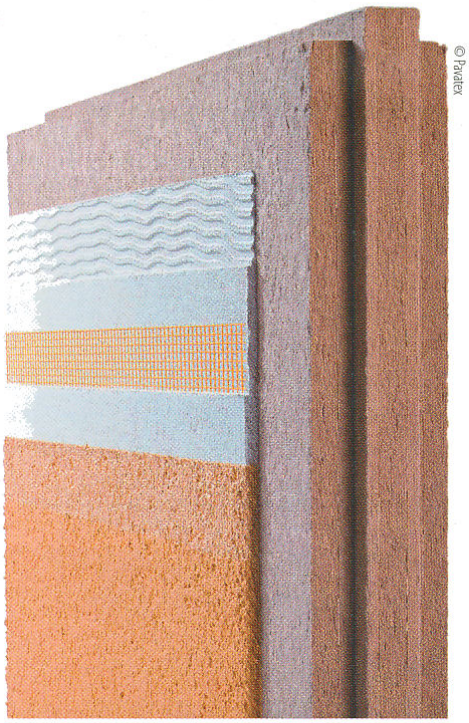


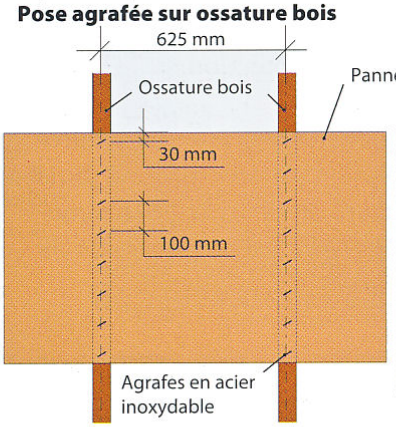
Figure 257 : Les panneaux de fibres de bois

pose en deux couches afin d'améliorer les performances thermiques. À noter, l'espace entre les montants de la structure bois peut avantageusement recevoir un isolant par insufflation.
La mise en œuvre des panneaux de fibres de bois peut s'effectuer au moyen d'une agrafeuse pneumatique ou avec des vis à tête isolée et rondelles rosaces.
La fixation par agrafes en acier inoxydable est réservée aux structures en

Réalisation d'une isolation extérieure crépie sur maison bois

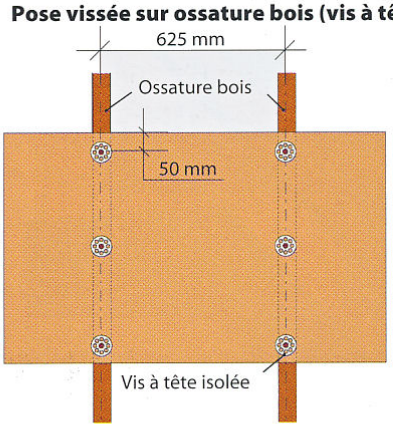
D'après Pavatex

Pose agrafée sur ossature bois



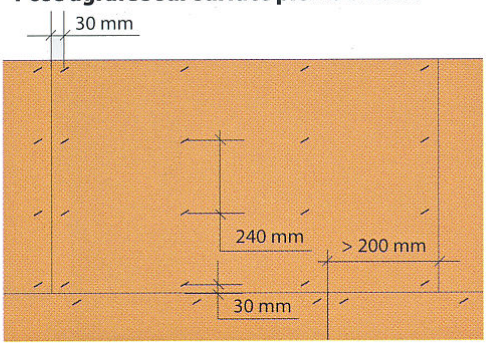
Épaisseur de l'isolant (cm)	Longueur des agrafes (cm)	
6	10	
8	11	
10	13	
12	15	

Pose vissée sur ossature bois (vis à tête isolée)

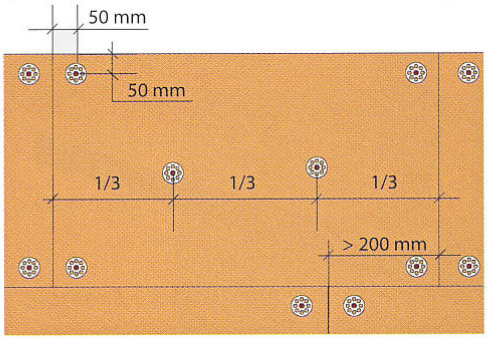


Épaisseur de l'isolant (cm)	Longueur des vis (cm)	
6	10	
8	12	
10	14	
12	16	
18	22	

Pose agrafée sur surface pleine en bois



Pose vissée sur support plein (bois ou maçonnerie)



Exemple de répartition des panneaux isolants

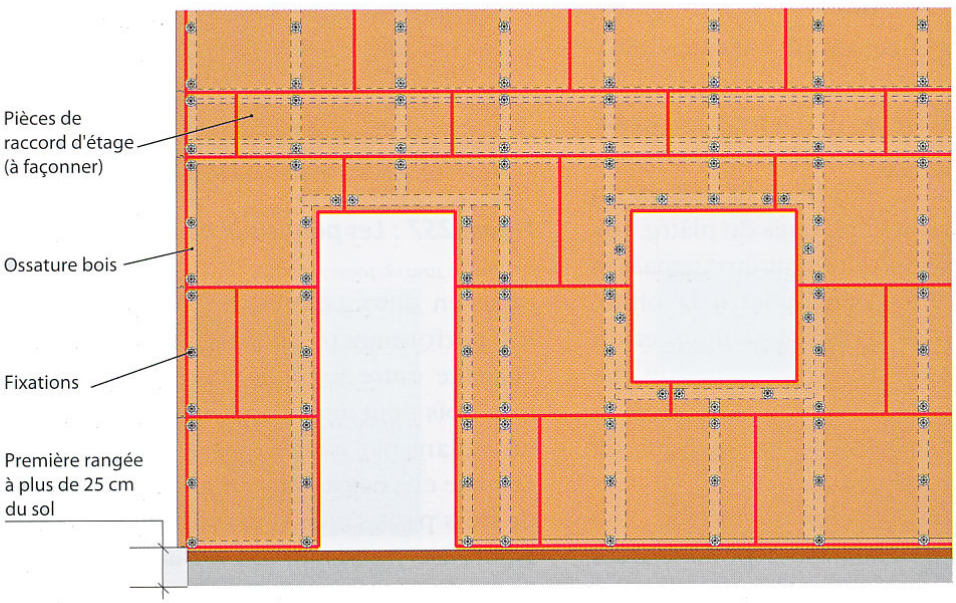


Figure 258 : La réalisation d'une isolation crépie sur maison bois

bois. Sur les ossatures bois (figure 258), enfoncez-les selon un angle de pénétration compris entre 30 et 60 °, avec un espacement maximal de 100 mm. Ne les placez pas à moins de 30 mm du bord des panneaux. Veillez aussi à les faire pénétrer d'une profondeur minimale de 30 mm dans le support.

Sur une surface en bois massif, utilisez environ seize agrafes par panneau de 130 x 79 cm, en quatre lignes verticales. Respectez un intervalle minimum entre chaque fixation de 240 mm, tout en évitant la zone des 30 mm, à partir des bords des panneaux.
Pour une fixation par vis et rondelles dans une ossature bois, prévoyez au moins trois points de fixation par montant, à 50 mm minimum du bord des panneaux. Sur un support en bois massif ou en maçonnerie, répartissez six fixations, dont une dans chaque coin, plus deux réparties sur une ligne médiane, au tiers des extrémités du panneau.
Pour les constructions de hauteur supérieure à 8 m, le nombre de fixations doit être augmenté selon les sollicitations de l'exposition au vent.
Pour la pose du premier rang, installez un profilé de départ à une hauteur minimale de 250 mm par rapport au sol. Isolez le soubassement avec un matériau hydrophobe et résistant, comme un polystyrène extrudé. En cas de construction neuve, posez les menuiseries extérieures en premier, du côté intérieur ou en alignement avec l'isolation. Veillez particulièrement à respecter l'étanchéité à l'air et à l'eau lorsque vous posez les menuiseries. Posez le deuxième rang de panneaux en coupe de pierre, à joints décalés de 200 mm au minimum.
Attention de ne pas créer de joint vertical entre panneaux qui soit dans l'alignement des tableaux des menuiseries. Vous ne devez pas non plus obtenir de joints horizontaux, entre panneaux, dans la zone du plancher intermédiaire. Façonnez des éléments sur le chantier pour recouvrir le nez de plancher.
Pour les angles saillants, procédez par harpage.

Une construction bois repose généralement sur un soubassement en béton consistant en une dalle sur semelles filantes. L'étanchéité est réalisée au niveau des soubassements et de la dalle. Dans ce cas, fixez les filières basses sur une base de mortier de remplissage. Réalisez l'isolation du soubassement avec un isolant hydrophobe jusqu'au profilé de départ des panneaux d'isolation en fibres de bois (figure 259). Comme indiqué, entre panneaux, le nez des planchers d'étage ne doit pas comporter de joints horizontaux. Retaillez un isolant sur le chantier, comme illustré à la figure 259.
Pour les angles extérieurs saillants de la construction, vous devez recouper des panneaux isolants pour pouvoir les adapter aux dimensions.

Au niveau de la toiture, la règle est toujours d'assurer la continuité de l'isolation. Dans l'exemple présenté à la figure 259, les panneaux isolants extérieurs n'entrent pas directement en contact avec l'isolation en laine de bois située entre les chevrons. Du fait des contraintes engendrées par les variations dimensionnelles du bois, il convient de ménager un espace entre le panneau de façade et la toiture. Vous le comblerez avec un joint isolant. Protégez le chant de l'isolant au moyen d'étrésillons posés entre les chevrons. Fixez des panneaux isolants pare-pluie sur les chevrons. Pour permettre la fixation des liteaux et assurer la circulation

Les points singuliers de l'isolation extérieure crépie sur maison bois

D'après Pavatex

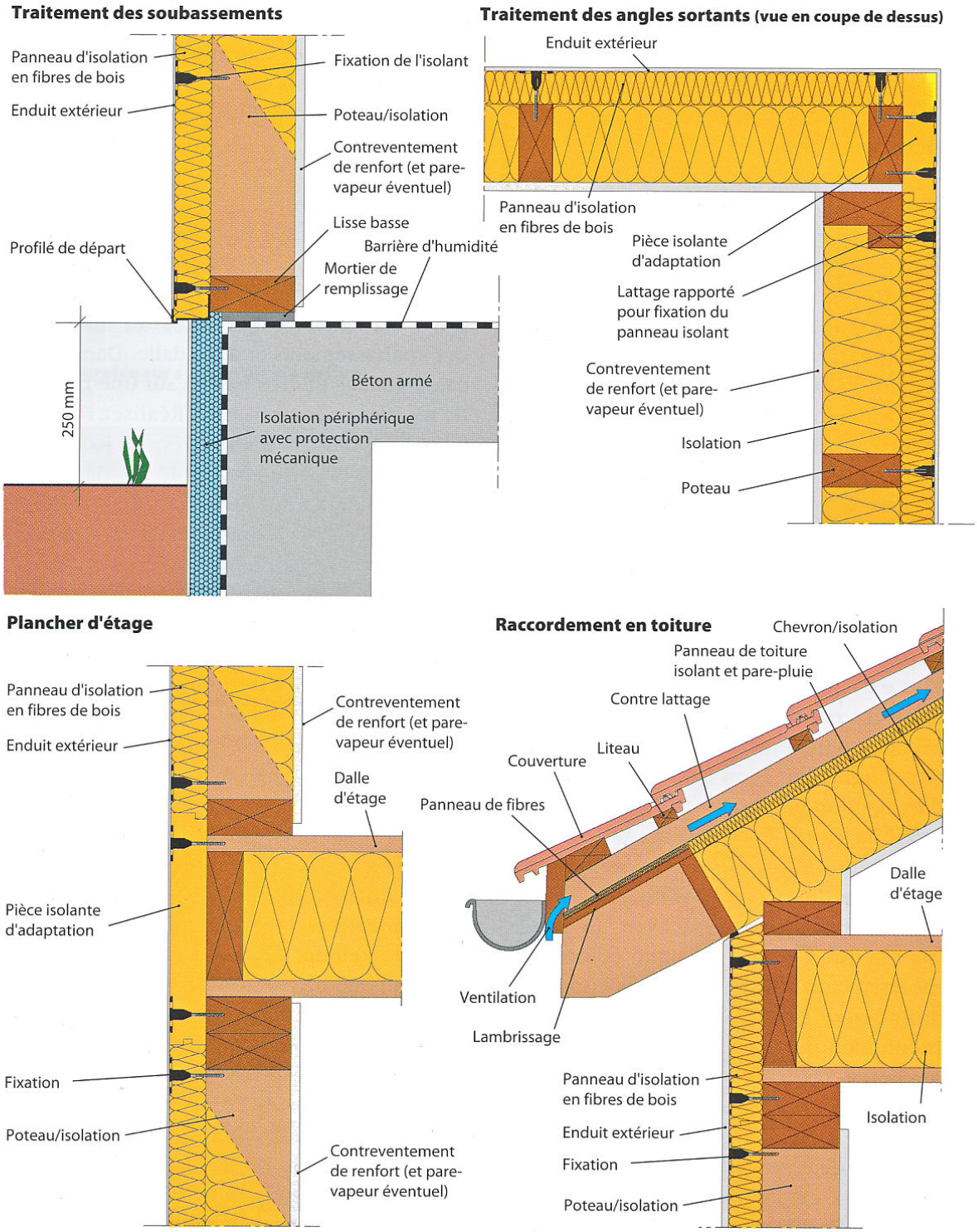


Figure 259 : Les points singuliers d'une isolation crépie sur maison bois

de l'air sous la toiture, réalisez ensuite un contre-chevronnage.
En ce qui concerne les menuiseries, veillez à prolonger l'isolation jusqu'au dormant des fenêtres (figure 260). Au niveau du linteau, sur la lisse, fixez mécaniquement des panneaux d'isolant découpés à la mesure. Réalisez un joint d'étanchéité entre ce panneau et le dormant. Installez également un autre système d'étanchéité entre la lisse de linteau et le dormant de la fenêtre.
Il faut aussi isoler le logement des coffres de volets roulants au niveau du liteau et en retour au moyen de panneaux de fibres. Pour la façade, utilisez un panneau de fibres de bois compressées en trois couches de 20 mm d'épaisseur, que vous fixerez sur un tasseau d'écartement et recouvrirez d'un panneau isolant d'épaisseur moindre et fixé mécaniquement.

Assurez l'étanchéité à l'eau et à l'air entre la partie supérieure de la menuiserie et les lisses de linteau.
En partie inférieure, équipez la lisse d'allège d'un appui incliné. Recouvrez-le d'un panneau de fibres de bois pare-pluie qui assure la continuité de l'isolation avec les panneaux muraux et vient en contact avec l'étanchéité du dormant de la menuiserie.
Collez une tablette rapportée sur l'isolation et réalisez un joint d'étanchéité entre l'isolant et la face inférieure de la tablette. En tableau, rendez les retours de la tablette étanches par un joint contre l'isolant avec un mastic hybride « MS Polymer ».
Isolez également les tableaux avec des panneaux isolants. Choisissez l'épaisseur de l'isolant en fonction de l'emprise du dormant de la menuiserie. Englobez éventuellement la coulisse du volet roulant ou la fixation des volets.

Sur une maçonnerie, la méthode courante de fixation est le calé/chevillé, qui consiste en une fixation mécanique et par collage sur toute la surface, au moyen d'une taloche crantée.

Appliquez un enduit adapté sur l'isolation des soubassements. Protégez les panneaux isolants de la pluie avant de mettre en œuvre l'enduit. Renforcez les angles saillants au moyen de profilés ou d'armatures textiles supplémentaires, en respectant un retour d'au moins 20 à 30 cm, de chaque côté de l'angle. Dans les angles des baies, posez également en diagonale des pièces de treillis d'armature de 30 x 30 cm.

Rapidement après la pose de l'isolation, appliquez une couche de fond de 3 mm minimum, à la taloche à lame inox. Travaillez-la fraîche, avec une brosse de façade pour la rendre rugueuse. Cette couche de fond sert de support et permet de rattraper les inégalités éventuelles. Après trois semaines de séchage, appliquez une couche d'enduit de base ou mortier d'enrobage de 5 mm environ, dans laquelle vous marouflerez le treillis d'armature. Assurez-vous que le voile de verre soit entièrement noyé dans la couche. Recouvrez les lés entre eux sur une largeur de 10 cm au minimum. Appliquez l'enduit de finition rapidement, avant sept jours. Pour l'application, évitez les journées venteuses ou de fort ensoleillement. Lorsque le crépi est réalisé et sec, recouvrez-le d'une couche de peinture de protection.

D'autres systèmes d'enduit sont possibles. Leur mise en œuvre peut différer légèrement, c'est pourquoi il est important de se référer aux instructions du fabricant.

Isolation extérieure crépie sur maison bois et menuiseries

D'après Pavatex

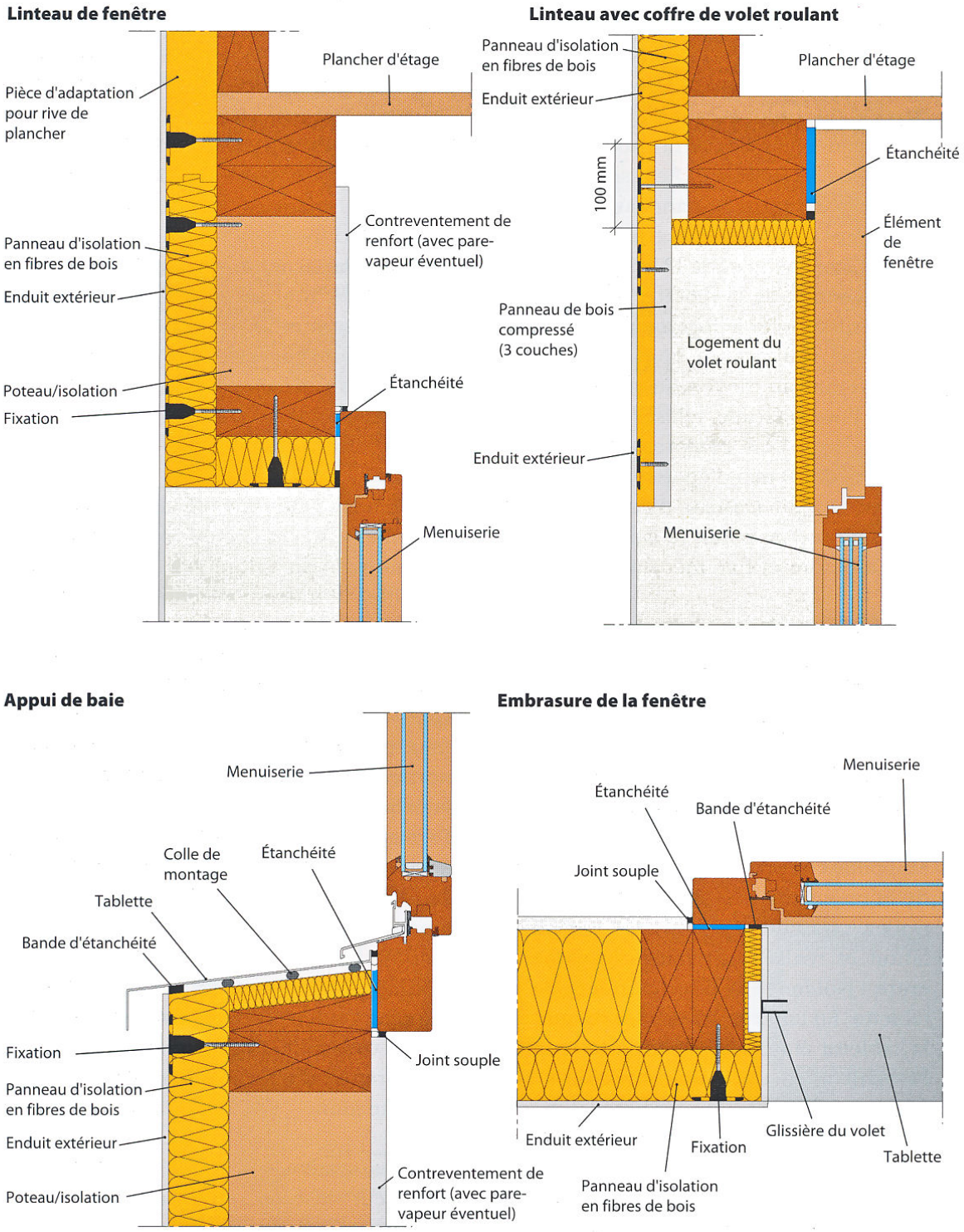
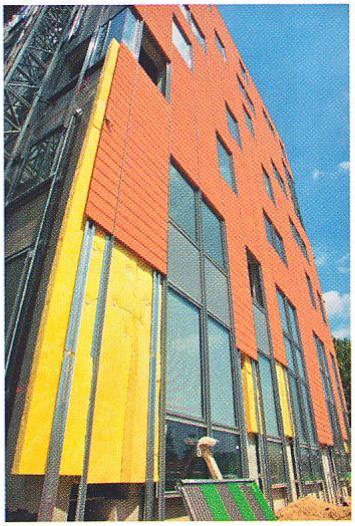


Figure 260 : L'isolation extérieure crépie sur maison bois et menuiseries

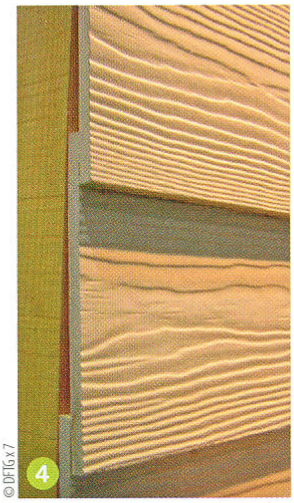
L'isolation sous bardage rapporté

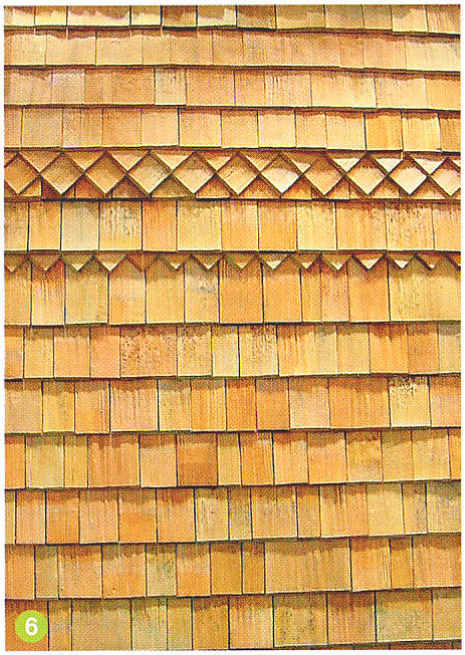


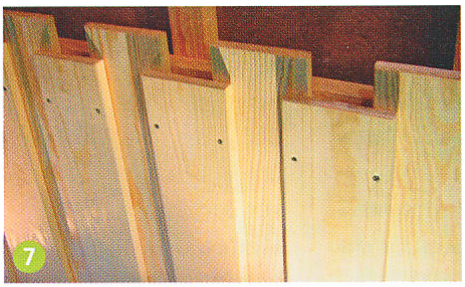
Un bardage rapporté est un revêtement extérieur destiné aux parois verticales et composé d'une ossature en bois, pour les systèmes traditionnels, et d'une peau. Le bardage est apprécié pour la réhabilitation des façades extérieures. C'est aussi une excellente solution pour réaliser une isolation thermique par l'extérieur.

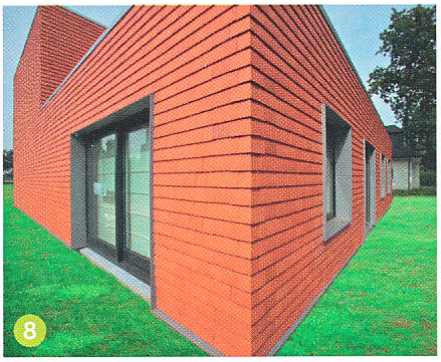
La peau des bardages rapportés permet de multiples solutions architecturales (figure 261). Dans les solutions les plus traditionnelles, les éléments sont en bois ou dérivés du bois. Les éléments de recouvrement sont des « tuiles » ou écailles en bois appelés tavaillons ou bardeaux. Ils sont réalisés en bois brut dans des essences résistantes comme le mélèze, le douglas, le *western red cedar*, le pin maritime, le châtaignier ou l'épicéa.
Lorsque les éléments sont des lames, on parle de clins. Ceux-ci peuvent également être en bois massif brut ou traité, compressé, lamellé collé ou teinté. Ils peuvent aussi être en fibres de haute densité, en PVC, en métal, en matériau composite bois polymère, en bois ciment, en fibres de cellulose et ciment, etc.
Si la pose horizontale avec recouvrement est la plus classique, il existe d'autres solutions, par exemple avec rainures et languettes, comme les lambris. La mise en œuvre peut encore être à claire-voie, verticale ou à recouvrement, voire en diagonale. En outre, il existe des panneaux de contreplaqué traité, des panneaux composites dérivés du bois avec résine, des panneaux métalliques et divers petits éléments en terre cuite, en ardoise ou en céramique... Le choix des formes, des matières et des couleurs est par conséquent très vaste. La figure 261 illustre une partie de toutes ces possibilités.

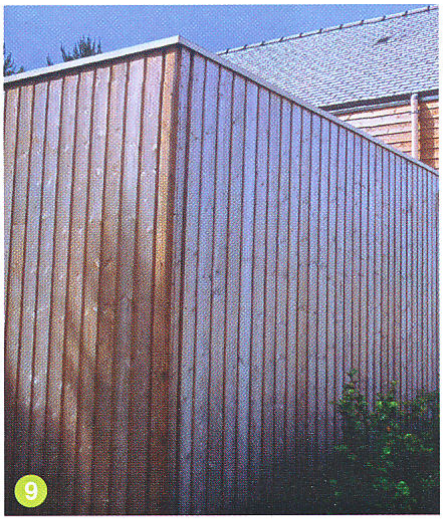
L'ossature la plus courante est basée sur des chevrons en bois disposés en un réseau vertical sur la paroi. Vous pouvez les solidariser à la structure porteuse, en contact direct ou le plus souvent par le biais de pattes équerre métalliques. Celles-ci présentent l'avantage de permettre le réglage d'adaptation pour corriger les irrégularités du support et obtenir une planéité correcte pour le parement.
En ce qui concerne les grandes plaques, les panneaux ou les clins, fixez-les horizontalement directement sur le réseau de chevrons.
Pour les clins prévus pour une pose verticale ou les petits éléments, fixez-les sur une ossature secondaire, elle-même fixée sur le réseau de chevrons verticaux.
Mettez à profit l'espace situé derrière le bardage pour réaliser l'isolation extérieure, tout en veillant à ménager une lame d'air ventilée entre l'isolant et la face arrière du bardage. Cette lame d'air doit être en communication avec l'extérieur, en haut et en bas de chaque façade.











1 Petits éléments en terre cuite gris perle 2 Panneaux de contre-plaqué 3 Bardage en bois composite avec attache métallique
4 Bardage en fibres de cellulose et de ciment 5 Bardage à lames embrevées 6 Bardage traditionnel en écaille
7 Bardage à lames verticales à recouvrement 8 Bardage en éléments de terre cuite 9 Bardage à lames verticales
10 Bardage à claire-voie en bois massif

Figure 261 : Exemples de bardages rapportés

de chaque côté des chevrons. Prévoyez un minimum de trois pattes par chevron, notamment en allège.
Posez les premières pattes en haut et en bas à une distance supérieure à 0,35 m des extrémités du support. Posez les autres pattes au pas de 1,35 m. Les chevrons, d'une longueur de 5,40 m reposent ainsi sur au moins cinq appuis. Pour les bardages traditionnels, mais aussi la plupart des bardages non traditionnels, l'entraxe entre chevrons est de 0,60 m. Sur les rives du bâtiment, pour une meilleure résistance aux vents et aux chocs, il faut réduire cet entraxe à 0,45 ou 0,30 m. À cet endroit de la construction, placez les pattes d'un seul côté du chevron, en adoptant un pas de 0,90 m.

Pour assurer la fixation des chevrons sur les pattes, divers systèmes sont possibles selon le poids du bardage. Par exemple, pour les éléments lourds dont la masse dépasse 25 kg/m², utilisez des tire-fonds de 7 mm de diamètre et de 50 mm de longueur, des vis à bois de 3,5 mm de diamètre et de 40 mm de longueur ou des clous non lisses de 3,5 mm de diamètre et de 40 mm de longueur. Si le bardage est léger, soit une masse inférieure à 25 kg/m², utilisez au moins trois vis à bois de 3,5 mm de diamètre et de 40 mm de longueur ou trois clous non lisses de 3,5 mm de diamètre et de 50 mm de longueur.
Si vous employez un tire-fonds, utilisez conjointement une vis de blocage de 3,5 mm de diamètre et de 40 mm de longueur dans l'un des percements pour éviter la rotation du chevron.

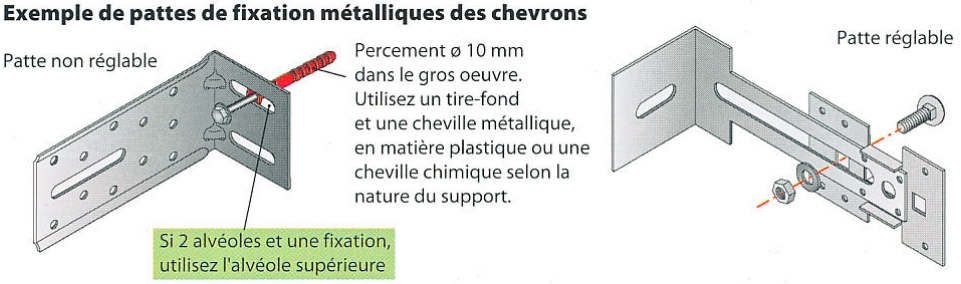
La position des vis de fixation dans le flanc des chevrons doit respecter certaines règles. Ne placez pas de vis à une distance inférieure à six fois leur

Les chevrons doivent avoir une section suffisante pour offrir durabilité et résistance mécanique. Leurs déformations doivent être négligeables et sans conséquences sur la structure. Leur largeur doit être adaptée pour la fixation des éléments de peau.
Pour la fixation des chevrons, deux types de pattes équerres sont possibles : réglables ou non. Les premiers se composent d'une patte équerre et d'une platine métallique fixée à la patte par boulonnage. Une lumière oblongue, située dans l'aile de la patte, permet le réglage en translation de la platine. Choisissez la hauteur des pattes équerres en fonction de l'épaisseur de l'isolant.

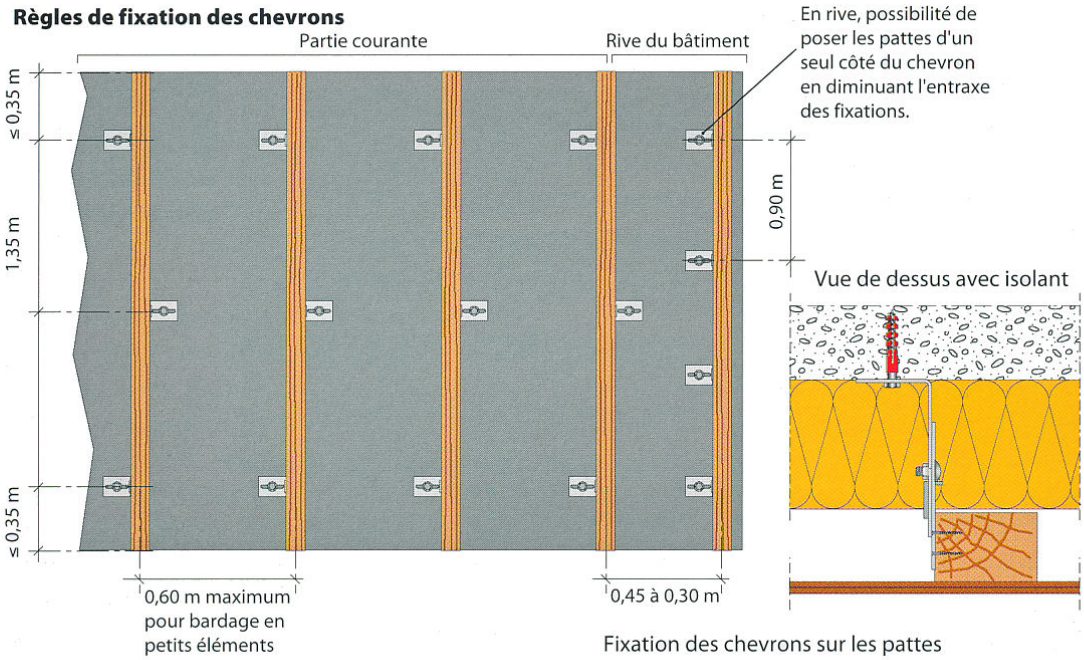
Un point important à prendre en compte est la fixation des pattes au support. En effet, les fixations doivent être sûres et résistantes. Utilisez des chevilles métalliques ou des systèmes de scellement chimique comme cela se pratique le plus souvent. Vous pouvez utiliser des chevilles plastiques uniquement si elles sont spécifiquement prévues pour cet usage. Il s'agit alors généralement de modèles de la famille des polyamides PA6. Vérifiez qu'elles sont adaptées au support et d'un diamètre minimum de 10 mm. Fixez les vis à tête plate ou les tire-fonds sur la patte par le biais d'une platine ou d'une rondelle de répartition. La fixation par vis et chevilles est adaptée à la fixation directe à travers les chevrons.
Pour la fixation avec pattes, placez la vis au centre du trou oblong (figure 262). Si la patte est pourvue de deux trous oblongs, n'utilisez que celui situé en haut. Les pattes, comme les vis, doivent résister à la corrosion.
Installez les pattes de fixation de part et d'autre des chevrons. Marquez au cordeau traceur l'alignement des percements

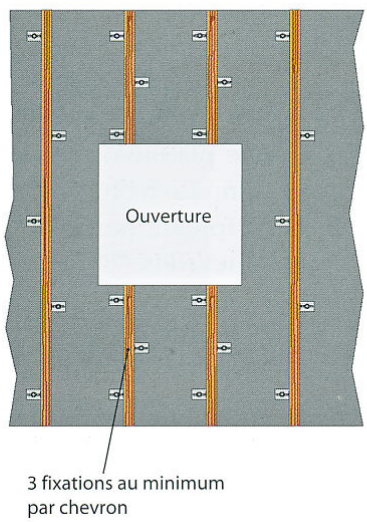
Fixation de l'ossature d'un bardage rapporté sur pattes métalliques

Exemple de pattes de fixation métalliques des chevrons



Règles de fixation des chevrons





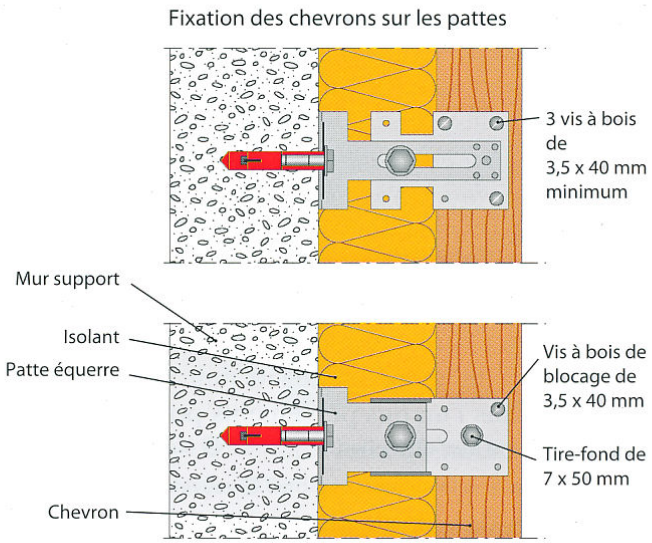


Figure 262 : La fixation de l'ossature d'un bardage rapporté sur pattes métalliques

diamètre par rapport aux arêtes extérieures des chevrons (figure 263). De même, espacez-les de plus de six fois leur diamètre sur le plan vertical et de plus de trois fois leur diamètre sur le plan horizontal.
Les chevrons courants ont une longueur de 5,40 m et sont en pin sylvestre ou en épicéa. Leur taux d'humidité doit être inférieur à 20 %. Ils doivent être traités contre les champignons et les insectes, ainsi que pour les classes d'emploi 2 et 3 définies par la norme « NF EN 335-2 ». Éliminez les bois présentant des altérations comme les nœuds et les flaches, les poches de résine, les échauffures, les piqûres blanches ou une mauvaise disposition de fil.

Pour limiter les pertes, il est possible de rabouter des chevrons, ce que vous pouvez faire de deux façons : soit par chevauchement latéral, soit par raboutage en ligne. Dans le premier cas, il faudra prendre en compte le décalage des pattes de fixation. Respectez un chevauchement de 30 cm au minimum. Renforcez-le mécaniquement au moyen de deux tire-fonds d'un diamètre de 7 mm minimum et d'une longueur totale correspondant à deux fois la largeur des chevrons.

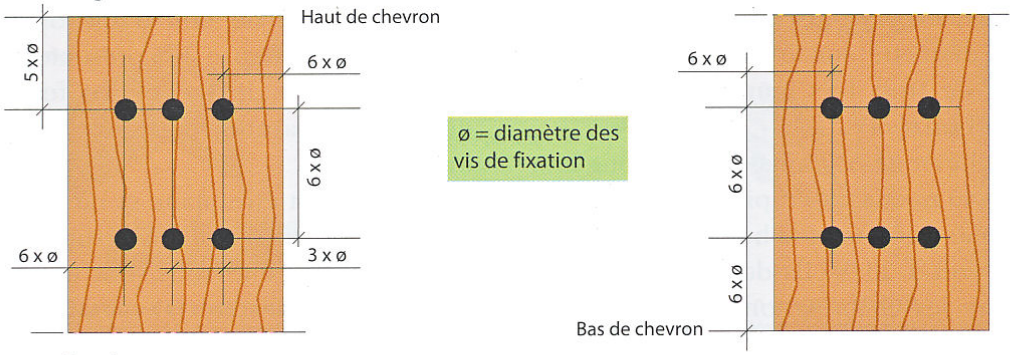
Pour le raboutage en ligne, utilisez des platines métalliques, protégées par galvanisation, de 1 mm d'épaisseur et d'une longueur minimale de 30 cm. Vissez la platine sur les deux extrémités du chevron. Prenez soin de laisser un jeu d'au moins 20 mm entre les extrémités des chevrons. Vous pouvez remplacer la platine métallique par une plaque de contreplaqué (CTB-X) de 10 mm d'épaisseur au minimum, clouée ou vissée.
La section des chevrons dépend de la masse surfacique du bardage, de la résistance au vent et de la largeur de la face vue selon les éléments à fixer et de la présence ou non d'une ossature secondaire. La figure 263 présente quelques exemples de section en fonction de ces contraintes pour les maisons individuelles.
L'ossature doit être plane et ne pas présenter de défaut de planéité supérieur à 2 mm entre les chevrons sous une règle de 2 m.

Comme indiqué, il est possible de fixer les chevrons directement sur la paroi (figure 264). On adopte généralement cette solution pour le bardage des niveaux inférieurs ou du rez-de-chaussée. Dans ce cas, fixez les chevrons dans leur partie médiane au moyen de systèmes de chevilles à frapper ou des ensembles vis plus cheville et rondelles de longueur suffisante pour assurer la bonne résistance mécanique. Si vous fixez directement les bardeaux sur les chevrons, équipez les têtes de vis d'une rondelle de 16 mm de diamètre. Pour les faire disparaître, au préalable, évidez des évidements cylindriques à la dimension dans les chevrons.

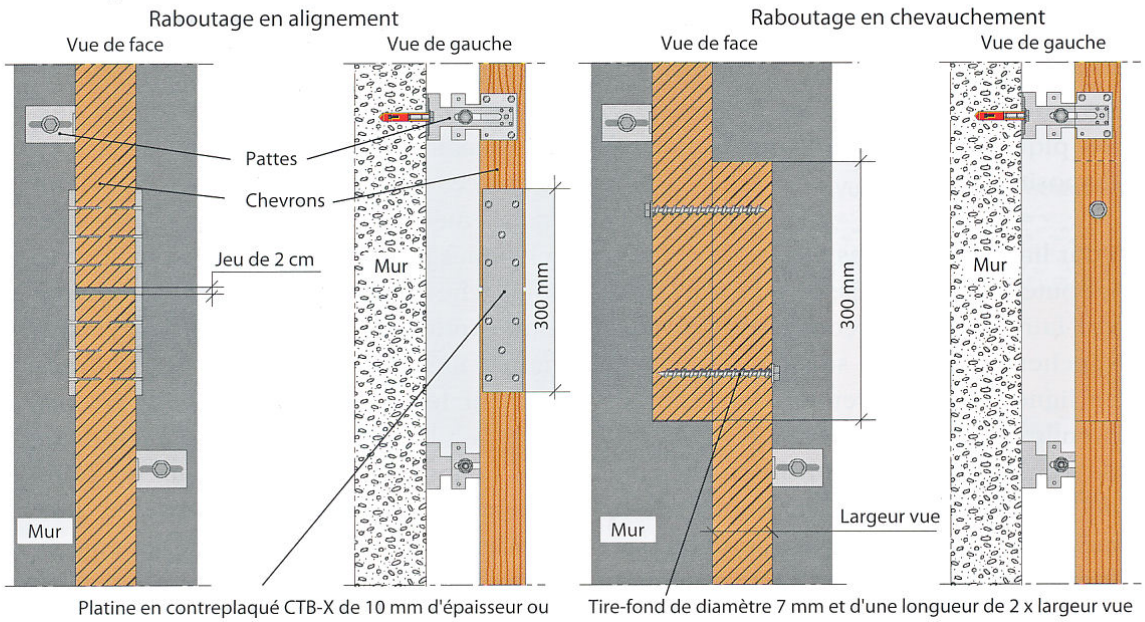
Les valeurs d'entraxes et autres détails constructifs sont semblables à ceux de la pose avec pattes équerres.
Naturellement, si l'isolant est posé en une seule couche, cette solution de mise en œuvre crée des ponts thermiques ponctuels au niveau des chevrons.
Il existe aussi des systèmes spécifiques d'ossatures métalliques avec bardeaux adaptés. Reportez-vous dans ce cas à la documentation et aux recommandations des fabricants.
Les isolants choisis doivent bénéficier de la certification ACERMI et répondre au classement minimal suivant : I1 S1 O2 L2 E1.

Points singuliers de la fixation des chevrons

Garde de vissage sur les flancs des chevrons



Raboutage des chevrons



Platine en contreplaqué CTB-X de 10 mm d'épaisseur ou en acier galavanisé de 1 mm d'épaisseur (fixation par vis ou clous torsadés ou crantés

Tire-fond de diamètre 7 mm et d'une longueur de 2 x largeur vue

Exemples de sections de chevrons (Source Guide Pratique CSTB)

Sections standard

Section standard (largeur x profondeur)	Résistance au vent (V en Pa)
40 x 63 mm	3 576
63 x 40 mm	1 442
63 x 75 mm	9 503
75 x 63 mm	6 705
75 x 100 mm	26 817
100 x 50 mm	4 469
199 x 63 mm	8 941
100 x 75 mm	15 084

Sections pour bardage rapporté en lames de bois

Section du chevron (largeur x profondeur)	Résistance au vent (V en Pa)
50 x 50 mm	2 780
50 x 63 mm	4 800
50 x 75 mm	7 660
63 x 63 mm	5 800

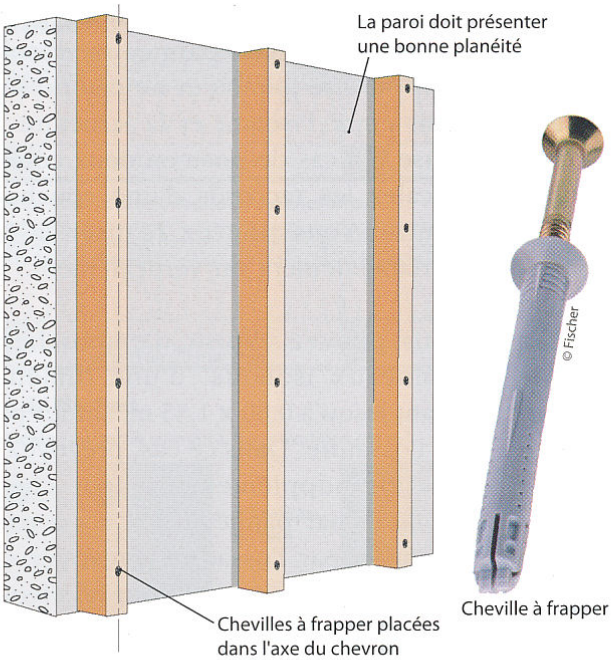
Sections pour bardage en petits éléments

Dim. en mm	Bardage terre cuite	Bardage ardoise	Bardage béton
Chevrons	50 x 50	50 x 50	50 x 50 ou 60 x 40
Entraxe des chevrons	40 à 60	60 maxi.	60 maxi.
Section des liteaux	15 x 40 à 18 x 50	14 x 40	15 x 40

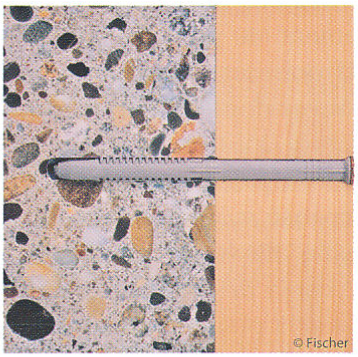
Figure 263 : Les points singuliers de la fixation des chevrons

Les autres systèmes d'ossature

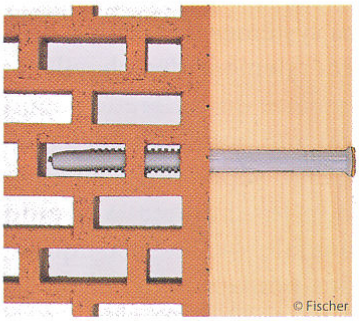
Fixation directe des chevrons sur la structure



Fixation dans une paroi pleine



Fixation dans une paroi creuse



Ossature en acier

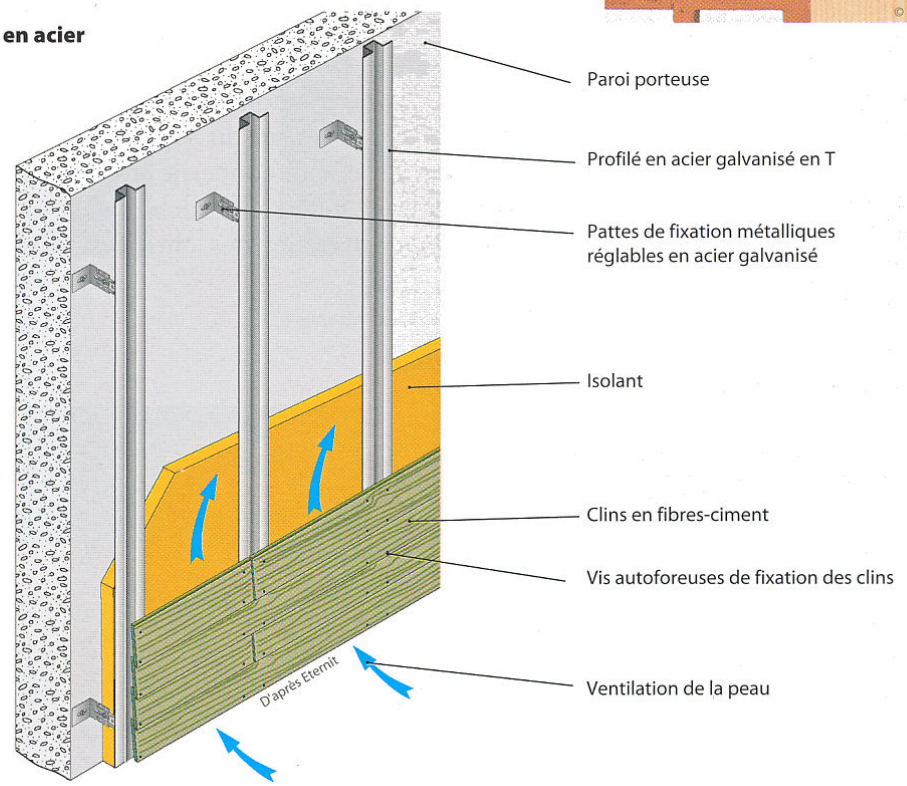


Figure 264 : Les autres systèmes d'ossature

Ils doivent être non hydrophiles et difficilement inflammables, avec un classement M0 pour les laines minérales ou M1 pour les plastiques alvéolaires. Vous pouvez donc utiliser des laines minérales (figure 265) en panneau ou en rouleau (semi-rigide à dérouler), du polystyrène expansé moulé ou extrudé, du polyuréthane, du verre cellulaire...

Le choix des panneaux rigides est possible si la planéité du support est correcte et qu'il ne se créera pas de lames d'air parasites avec le support.

Les systèmes de fixation de l'isolant sont généralement des chevilles étoiles d'un diamètre de collerette supérieur ou égal à 80 mm pour les laines minérales semi-rigides, supérieures ou égales à 50 mm pour les panneaux rigides de laine minérale ou les plastiques alvéolaires. Vous pouvez aussi choisir le collage par plots, comme pour un isolant support d'enduit.

Vous pouvez poser l'isolant en une couche sous les chevrons ou en deux couches (l'une sous chevrons, la seconde entre chevrons) ou entre les éléments d'un contre-chevronnage.

Avant la pose de l'ossature, embrochez l'isolant sur les pattes de fixation des chevrons et avec ses fixations propres (figure 266). Les panneaux d'isolant, doivent être jointifs et ne pas présenter d'air entre l'isolant et la structure porteuse. En cas de pose en deux couches, décalez les raccords d'une couche sur l'autre. Vous pouvez réaliser la pose horizontalement ou verticalement.

Vous pouvez choisir d'embrocher les panneaux isolants, d'une dimension allant jusqu'à 0,60 x 1,35 m, sur les pattes de l'ossature. Dans ce cas, prévoyez une fixation supplémentaire, par cheville étoile et par panneau. S'il n'y a pas de maintien par l'ossature, prévoyez deux fixations par panneau. Pour les éléments découpés dont la plus grande mesure ne dépasse pas 35 cm, vous pouvez n'utiliser qu'une seule fixation. N'enfoncez pas trop les chevilles étoiles situées au centre, sinon elles écarteraient les bords du panneau du support.

En ce qui concerne les isolants alvéolaires, ne les embrochez pas sur les pattes de fixation des chevrons. Utilisez deux

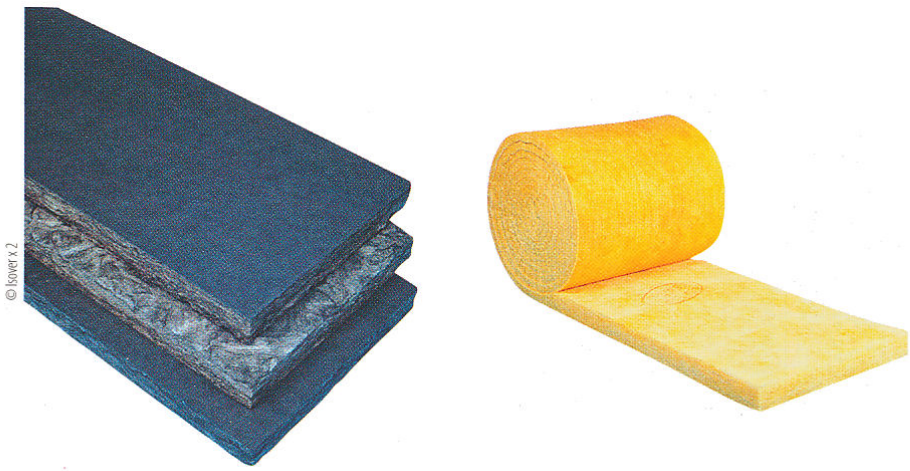
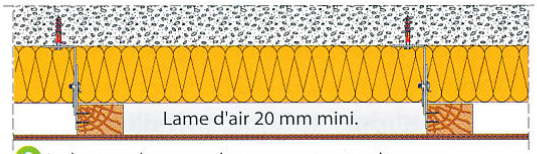


Figure 265 : Exemples d'isolants pour l'isolation sous bardages rapportés

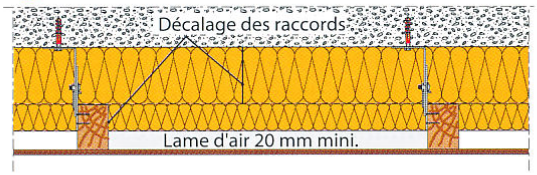
Pose de l'isolant sous bardage

Différentes configurations de pose

1 Isolant en une couche sous chevrons

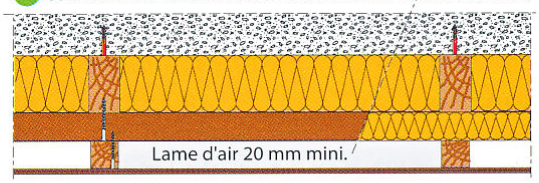


2 Isolant en deux couches, sous et entre chevrons



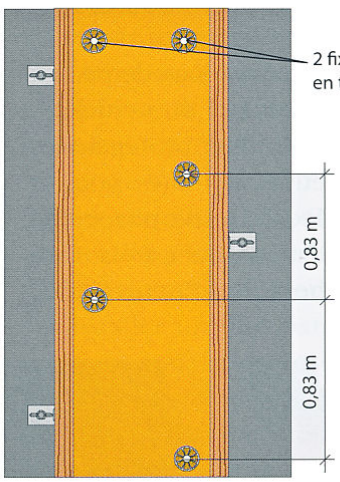
3 Isolant en une couche entre chevrons

4 Isolant en deux couches entre chevrons avec contre-chevrons

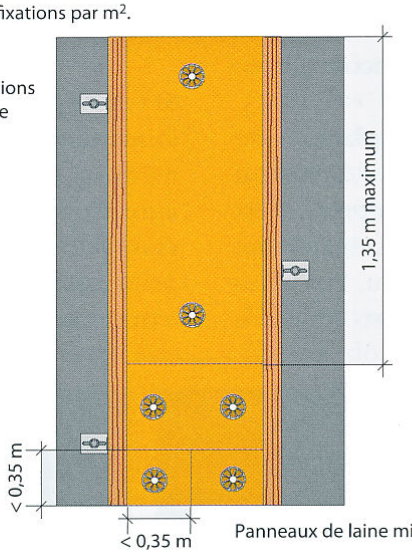


Fixation de l'isolant

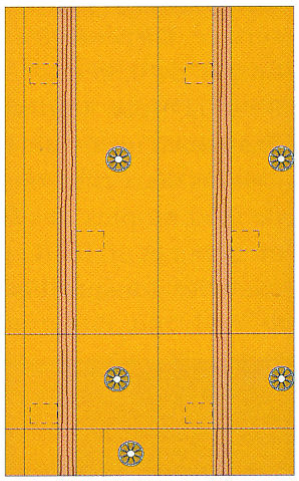
Pose verticale : en partie courante, deux fixations par m².



Laine minérale à dérouler entre chevrons

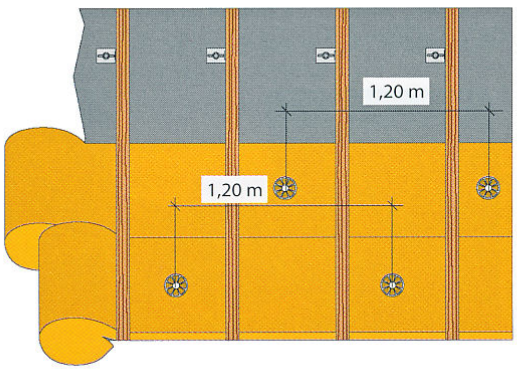


Panneaux placés entre les chevrons

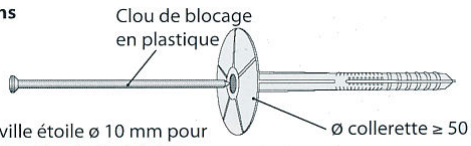


Panneaux de laine minérale de 0,60 x 1,35 m
Panneaux embrochés sur les pattes de fixation des chevrons

Pose horizontale

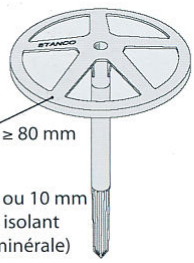


Fixations



Cheville étoile ø 10 mm pour fixation d'un isolant rigide (mousse alvéolaire ou laine minérale compressée)

Épaisseur de l'isolant (mm)	Longueur de la cheville (mm)
30 à 40	70
50 à 60	90
70 à 80	110
90 à 100	130
110 à 120	150



Cheville étoile ø 8 ou 10 mm pour fixation d'un isolant non rigide (laine minérale)

Figure 266 : La pose de l'isolant sous bardage

chevilles étoiles, au minimum par plaque ou par mètre carré. Vous pouvez aussi choisir le collage.
En ce qui concerne les panneaux de laine minérale à dérouler, ils se présentent généralement sous forme de rouleaux de 0,60 m de largeur et de différentes longueurs. Ils ne faut pas les embrocher sur les pattes de fixation des chevrons. Vous pouvez les poser à l'horizontale ou à la verticale.

En cas de pose verticale, placez deux fixations en haut et deux fixations par mètre carré réparties sur le reste de la surface. Disposez-les en quinconce avec un pas de 0,83 m.
Pour la pose horizontale, placez une fixation au maximum tous les 1,20 m, soit tous les deux chevrons, si leur entraxe est de 0,60 m, plus des fixations également en début et en fin de panneau. Posez les chevilles lorsque l'isolant est en place (figure 267). Effectuez un percement au diamètre adapté à la cheville au moyen d'un perforateur. Introduisez la cheville dans le percement. Selon le modèle, le blocage s'effectue directement en tapant avec un marteau ou bien en enfonçant la cheville, puis le clou métallique de blocage.
L'isolant ne doit pas occuper tout l'espace entre le mur et le dos du bardage. N'omettez pas de ménager une lame d'air ventilée minimale de 2 cm. Elle est destinée à évacuer les infiltrations éventuelles d'eau de pluie et la vapeur provenant de l'intérieur de l'habitation.

Si vous optez pour un système de peau à joints ouverts horizontaux ou verticaux, même si les chevrons sont protégés des agressions extérieures et traités pour la classe 2, il est nécessaire de poser une protection supplémentaire sur la face extérieure des chevrons. En revanche,

© Rockwool

1 Percez le logement de la cheville.

2 Mettez en place la cheville étoile.

3 Bloquez la cheville au marteau

Figure 267 : La pose d'une cheville étoile

cela n'est pas nécessaire si vous choisissez des bois traités au minimum pour la classe 3 contre les risques biologiques.
Pour les bois de classe 2, installez une protection sur toute la hauteur des chevrons (figure 268). Le matériau choisi doit être mince, imperméable, durable et d'une largeur supérieure de 20 mm à celle de la face vue des chevrons. Vous pouvez utiliser une bande de PVC souple de 1 mm d'épaisseur au minimum, une bande de feutre bitumé, un feuillard en aluminium laqué ou une bande EPDM. Fixez la bande de protection par clouage ou agrafage. Elle sera également maintenue par les éléments de peau.
La largeur des joints ouverts doit être inférieure à l'épaisseur de la peau de bardage et inférieure à 8 mm.

Dans certains cas, comme par exemple avec des clins en fibres ciment posés verticalement, il peut être nécessaire d'installer un film pare-pluie entre l'ossature primaire et l'ossature secondaire. Les peaux en petits éléments nécessitent la pose d'une ossature secondaire (figure 269). Celle-ci se compose généralement de liteaux pour les bardages traditionnels ou de lisses. Ces dernières sont classiquement des profilés métalliques destinés à la fixation de bardeaux spéciaux. Elles sont commercialisées par le fabricant du système de bardage.

Les liteaux doivent être traités contre les actions biologiques, tout comme les chevrons. Leur taille doit être suffisante pour supporter le poids de la peau, résister aux contraintes du vent et permettre la pose de crochets de fixation des petits éléments. Ils doivent aussi pouvoir supporter des fixations traversantes. Pour les petits éléments en terre cuite par exemple, choisissez des liteaux de 15 x 40 mm avec des chevrons de 50 x 50 mm, espacés de 0,40 m et des liteaux de 18 x 50 mm, si les chevrons sont espacés de 0,60 m. Pour des éléments en ardoise naturelle, utilisez des liteaux d'une section de 14 x 40 mm pour des chevrons de 50 x 50 mm, avec un entraxe de 0,60 m au maximum. Dans le même cas de figure, mais avec des éléments en béton, utilisez des liteaux de 15 x 40 mm.
Pour un bardage en clins verticaux, utilisez des liteaux de 40 x 40 mm, toujours pour un entraxe entre chevrons de 0,60 m maximum, ou de 40 x 27 mm, pour un entraxe jusqu'à 0,40 m.
Fixez les liteaux sur les chevrons au moyen de vis à bois protégées contre la corrosion (vis cadmiées, zinguées ou galvanisées), ou de clous galvanisés, crantés ou torsadés.

Les chevrons destinés à recevoir les liteaux doivent présenter une face de support d'au moins 40 mm. Placez au moins deux fixations à chaque intersection avec les chevrons. Placez les vis à une distance d'au moins trois fois leur diamètre des côtés du rectangle de superposition et à cinq fois leur diamètre, en ce qui concerne les clous. Si vous devez rabouter les liteaux, faites-le sur un chevron en ménageant un espace minimal de 3 mm entre les deux extrémités. Faites pénétrer les fixations sur une profondeur d'au moins 30 mm dans les chevrons.
Pour des liteaux destinés à recevoir des clins verticaux, utilisez des clous de 3,1 mm de diamètre et d'une longueur de 55 mm.
Veillez à ne pas poser les liteaux en porte à faux sur une distance de plus de 150 mm.
L'entraxe entre les rangées de liteaux dépend des éléments de bardage à

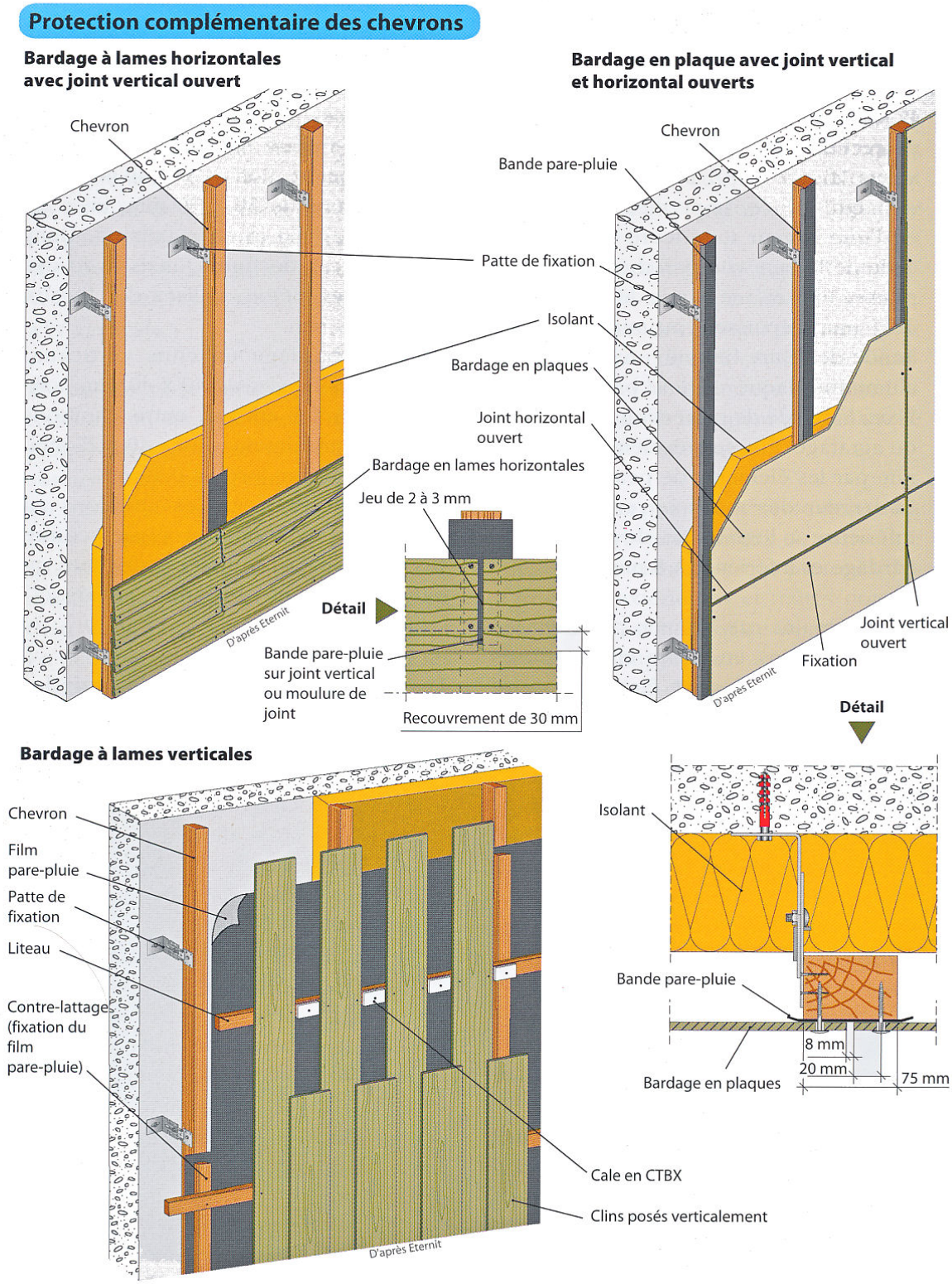
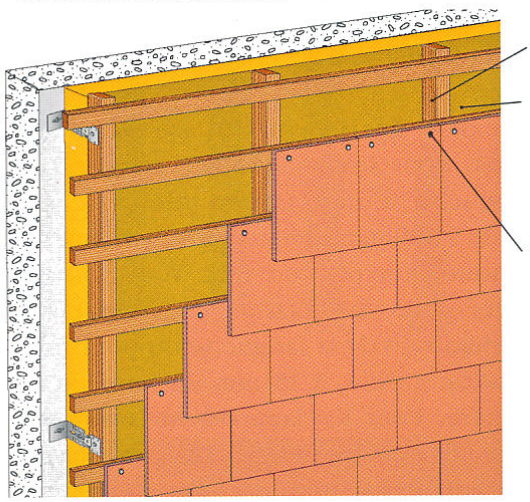


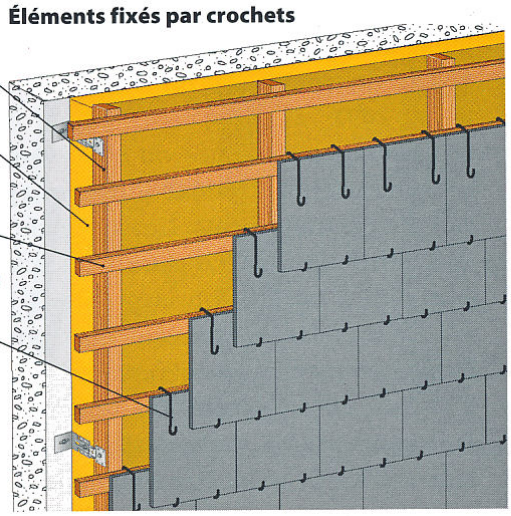
Figure 268 : La protection complémentaire des chevrons

Les bardages en petits éléments

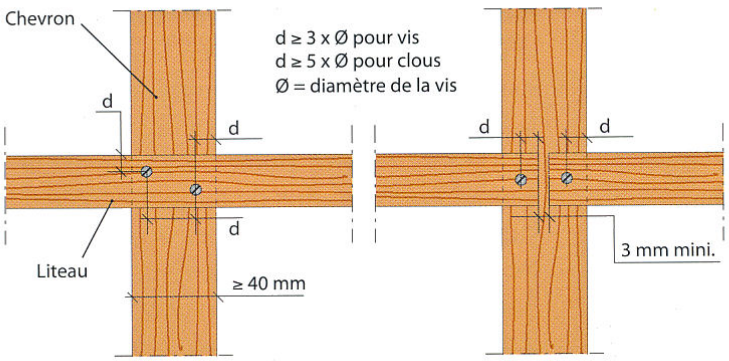
Éléments vissés ou cloués

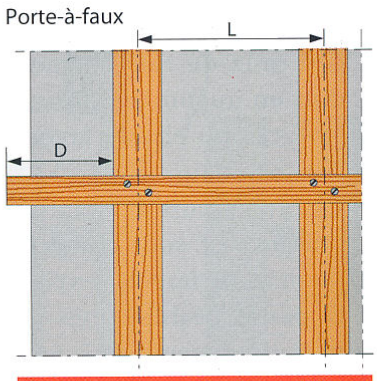


Éléments fixés par crochets



Fixation des liteaux sur les chevrons

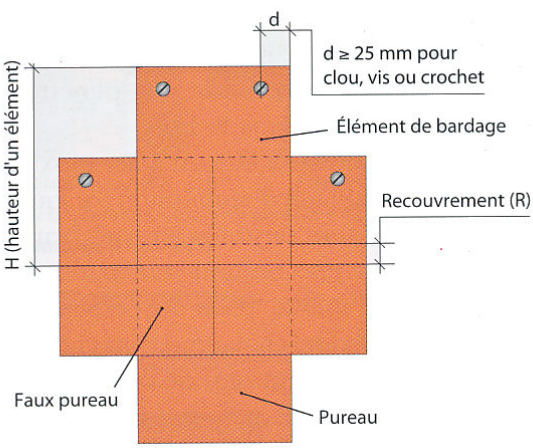




D = L / 4 maximum et toujours ≤ 150 mm

Chaque liteau doit être fixé sur 3 appuis minimum sauf en rive ou 2 sont acceptés.

Entraxe des liteaux



L'entraxe des liteaux est au maximum la longueur du pureau. Si celle-ci n'est pas indiquée par le fabricant, elle peut se calculer de la manière suivante :

$$\text{Longueur du pureau} = \frac{\text{H (hauteur de l'élément) - R (recouvrement)}}{2}$$

Exemple : dimension de la tuile 20 x 30 cm avec un recouvrement recommandé de 8 cm, l'entraxe maximum des liteaux sera de :

$$\frac{30 - 8}{2} = 11 \text{ cm}$$

Figure 269 : Les bardages en petits éléments

installer et est défini par le fabricant. Pour les petits éléments, l'entraxe des liteaux est au maximum égal à la longueur du pureau (voir le détail à la figure 269).
Les bardages en lames ou clins sont en bois naturel, lamellé collés ou ayant subi divers traitements. L'essence choisie doit offrir une bonne durabilité (classe d'emploi 2 ou 3 selon la norme NF EN 335-2). Les lames peuvent être posées indifféremment à l'horizontale, à la verticale ou en diagonale (figure 270).
Différents profils sont possibles pour les lames. Elles peuvent être simplement rectangulaires, trapézoïdales ou adopter une ligne spéciale pour un effet esthétique renforcé ou pour favoriser l'écoulement des eaux de ruissellement. Le profil ne doit en aucun cas présenter des bords, surfaces ou chants favorisant la stagnation de l'eau.
Les épaisseurs courantes des lames en bois massif sont comprises entre 15 et 19 mm. La largeur exposée, c'est-à-dire la partie visible, hors recouvrement et hors bouvetage, doit être inférieure ou égale à 7,5 fois l'épaisseur de la lame. Ces règles permettent de limiter le retrait et le gonflement des clins.

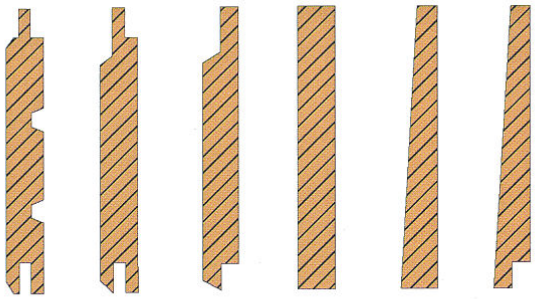
Vous pouvez réaliser la pose par chevauchement ou par rainure et languette. Dans ce dernier cas, ménagez un jeu de 2 mm entre la languette et le fond de la rainure, afin de ne pas entraver les variations dimensionnelles du bois. Posez les lames dans le sens adapté pour respecter l'évacuation de l'eau.
Pour une pose horizontale par recouvrement, si la largeur exposée des clins est inférieure ou égale à 125 mm, placez une fixation par chevron. Elle doit être située à environ 15 mm du bord de la lame et peut être apparente ou masquée.
Si la largeur exposée est supérieure à 125 mm, placez deux points de fixation par chevron au tiers et aux deux tiers de la lame.

Il existe également des systèmes de clips. Pour les lames avec rainures et languette d'une largeur inférieure ou égale à 100 mm, une fixation par lame, à chaque chevron, convient. Vous pouvez opter pour une fixation invisible, dans le chanfrein de la languette ou pour une fixation visible, à 15 mm du bord de la rainure. Pour les lames dont la largeur exposée est supérieure à 125 mm, placez deux fixations au tiers et aux deux tiers des clins.
En cas de pose verticale, posez les lames directement sur l'ossature secondaire, avec un point de fixation en leur centre. Assurez les lames de recouvrement dont la largeur exposée est inférieure ou égale à 100 mm par un point de fixation, au centre. Pour les clins de largeur exposée supérieure à 100 mm, placez deux points de fixation. Répartissez-les sur chaque ligne de liteaux. Afin de favoriser l'écoulement de l'eau, taillez la partie inférieure des lames en larmier.

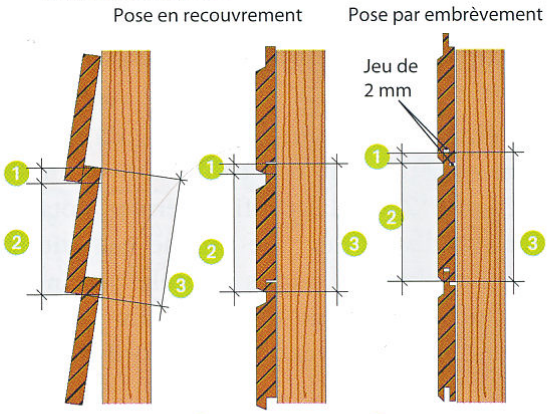
La pénétration des fixations dans le support doit être de 22 mm au minimum. La tête de la fixation ne doit pas pénétrer de plus de 1 mm dans le bois.
Les fixations doivent être en acier inoxydable ou en alliage d'aluminium lorsque les bardages sont destinés à rester bruts ou à recevoir une finition transparente. Il en est de même pour les essences *western red cedar*, châtaignier ou chêne, car elles sont susceptibles de corroder le métal. Pour les bois peu denses comme le méranti ou le pitch pin, utilisez des fixations invisibles en acier inoxydable ou des vis ou des clous électrozingués.

Les bardages en lames de bois

Exemples de profils de lames



Exemples de pose

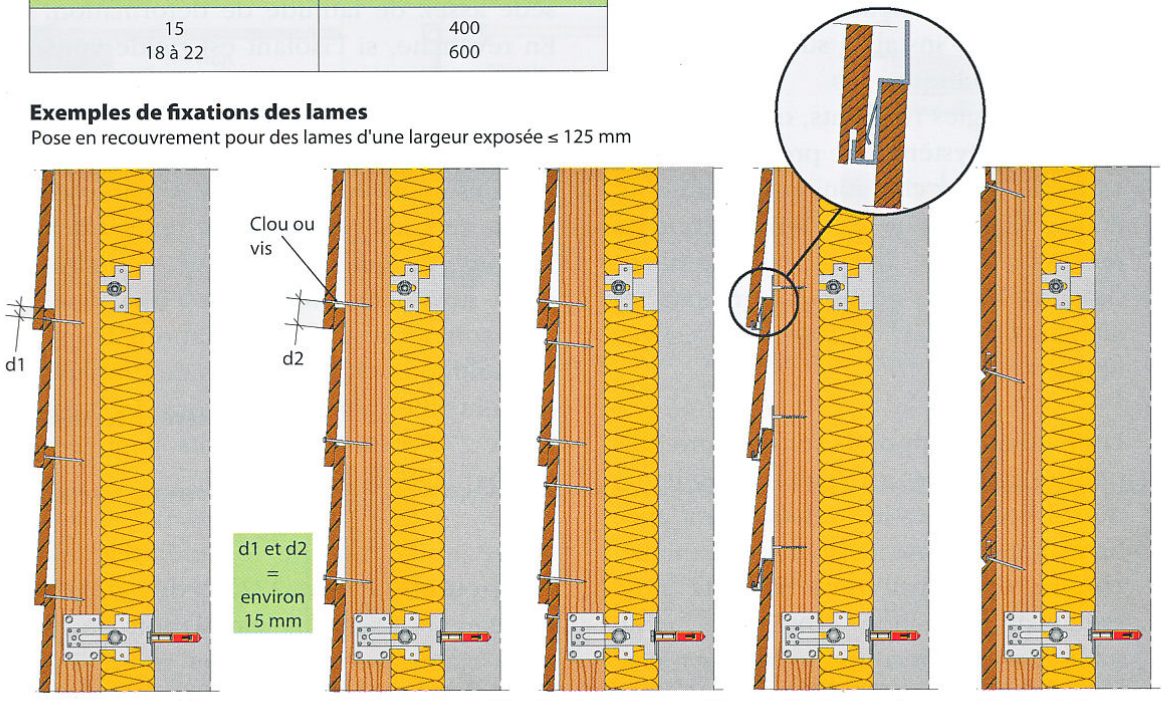


Entraxe des supports

Épaisseur des lames (en mm)	Entraxe des chevrons (en mm)
15 18 à 22	400 600

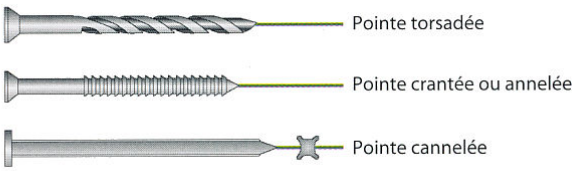
Exemples de fixations des lames

Pose en recouvrement pour des lames d'une largeur exposée ≤ 125 mm



Pour des lames d'une largeur exposée ≥ 125 mm, prévoir 2 fixations par appui au 1/3 et 2/3 de la lame.

Exemples de pointes



Taille des fixations

Pointes : longueur = au moins 2,5 fois l'épaisseur des lames.
Vis : longueur = au moins 2 fois l'épaisseur des lames.
Les fixations doivent pénétrer au moins de 22 mm dans le support.
La pénétration des têtes dans le bois ne doit pas excéder 1 mm.
Vis ou pointes doivent résister à la corrosion.

Figure 270 : Les bardages en lames de bois

La longueur des clous doit être au moins 2,5 fois supérieure à l'épaisseur des lames. Celle des vis est au minimum de deux fois l'épaisseur des lames.

Renforcez les angles des bardages au moyen de profilés et de pattes d'angle (figure 271). Le profilé permet notamment d'apporter une touche esthétique à l'angle. Les pattes d'angle prennent appui de chaque côté du mur. Le chevron renforce encore le raccord d'angle des lames.
Pour les bardages non traditionnels, vous pouvez opter pour des éléments d'angle spécialement conçus, par exemple en terre cuite, à installer sur une ossature d'angle spécifique.
Pour les angles rentrants, on utilise également des systèmes de profilés adaptés. La fixation des chevrons reste traditionnelle avec les pattes équerres. Pour les matériaux soumis à la dilatation, utilisez des profilés qui ne bloqueront pas les éléments de peau ou laissez un espace libre.

Les bardages rapportés sur ossature bois doivent être posés à 150 mm au minimum du sol fini. Isolez le soubassement avec un matériau à forte résistance mécanique, comme du polystyrène extrudé avec enduit de protection. Protégez la partie inférieure de l'ossature du bardage avec une grille pour empêcher la pénétration des rongeurs tout en laissant circuler l'air.
Pour les bardages en petits éléments, la lame d'air doit avoir une épaisseur de 2 à 3 cm minimum. Elle doit être continue, sur toute la façade, et laisser passer l'air également en haut du bardage. Dans le cas d'une toiture-terrasse, arrêtez les chevrons sous la couvertine d'acrotère, dont le retour assure la continuité de la lame d'air.

Si la toiture est en pente et isolée, ménagez également une lame d'air en haut de l'ossature. Protégez-la aussi par une grille. Pour éviter tout pont thermique, posez l'isolant dans la continuité de celui de la toiture.

Pour une construction avec joints de dilatation dans le gros œuvre, il est nécessaire d'interrompre le bardage afin de laisser libre cours aux mouvements différentiels éventuels de la construction et ce sans créer de dommages. Pour ce faire, devant le joint de dilatation vous pouvez poser un isolant fibreux qui possède assez de latitude de déformation. En revanche, si l'isolant est rigide vous devez l'interrompre également et traiter le joint.
Comme indiqué, l'ITE supprime la plupart des ponts thermiques. Malheureusement, certains persistent au niveau des balcons, ce qui constitue un véritable point noir dans les constructions, quel que soit le système d'isolation. L'une des solutions est l'utilisation de rupteurs de ponts thermiques (voir page 547). La figure 272 présente les points singuliers des bardages.

En ce qui concerne les menuiseries extérieures (figure 273), vous devez également assurer la circulation de la lame d'air sous les tablettes et en linteau. Utilisez des grilles de protection pour protéger les sorties des lames d'air.
Si la menuiserie est située au droit du nu extérieur du mur, assurez le contact entre son dormant et l'isolant. Il en est de même si la menuiserie est placée côté intérieur. Placez des profilés d'habillage sur le tableau et le linteau.
Au niveau de l'allège, installez une bavette rapportée avec des remontées latérales.

Traitement des angles des bardages

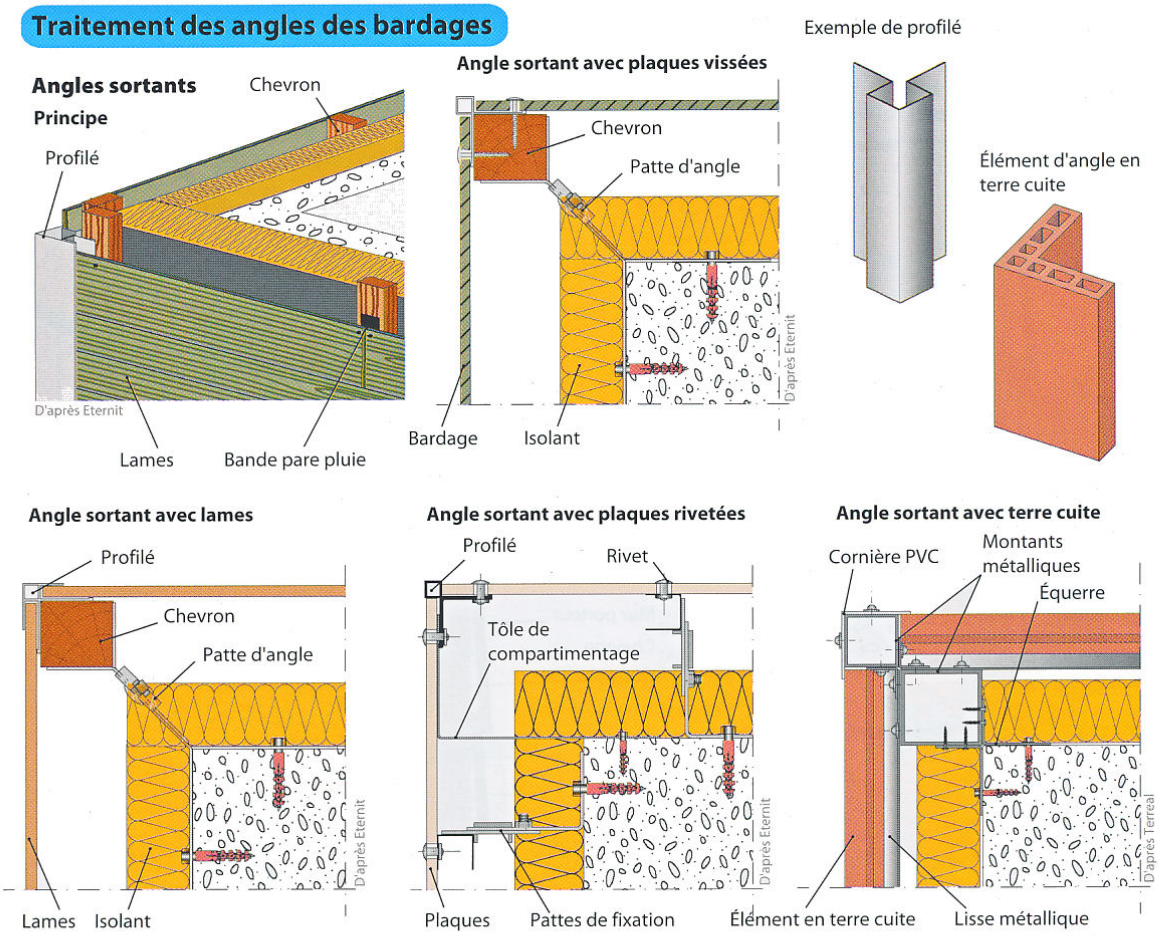
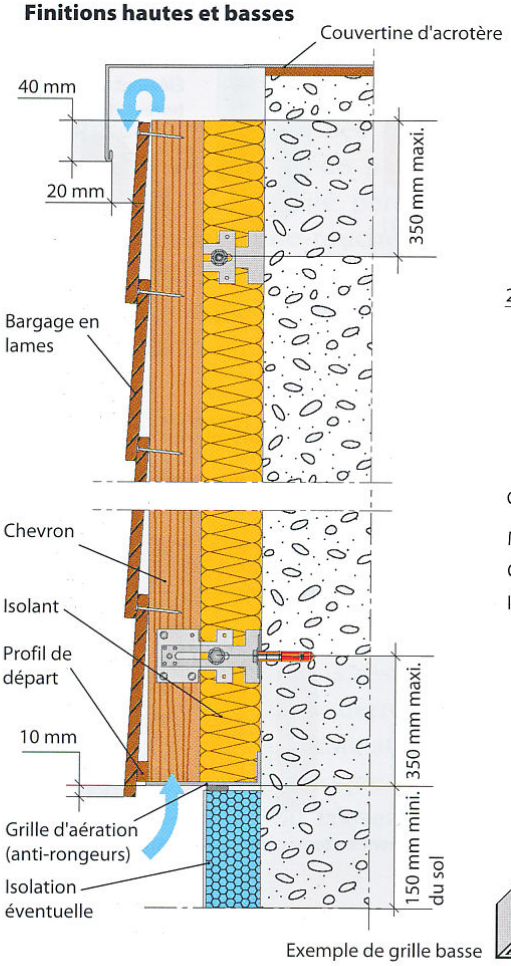


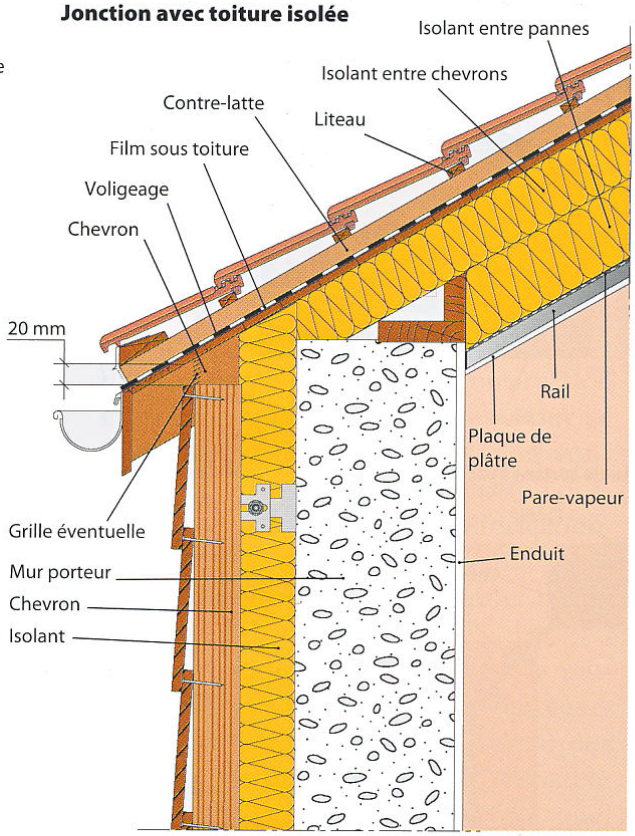
Figure 271 : Le traitement des angles des bardages

Les points singuliers des bardages

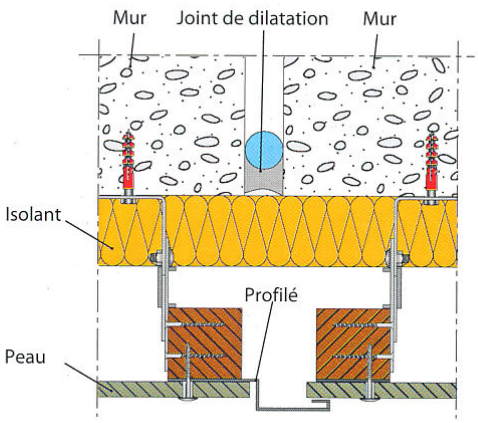
Finitions hautes et basses



Jonction avec toiture isolée



Joint de dilatation



Balcon

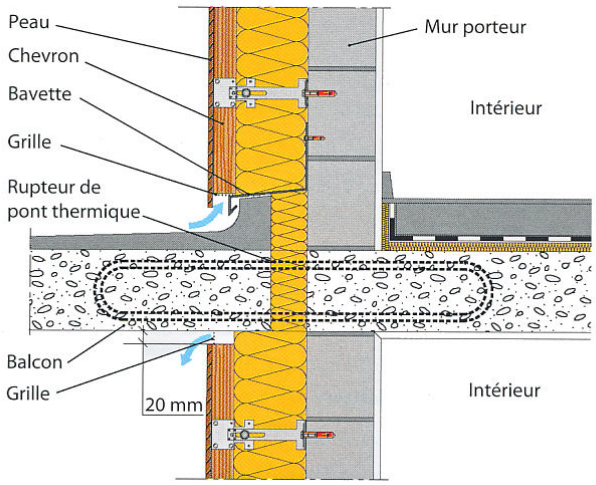
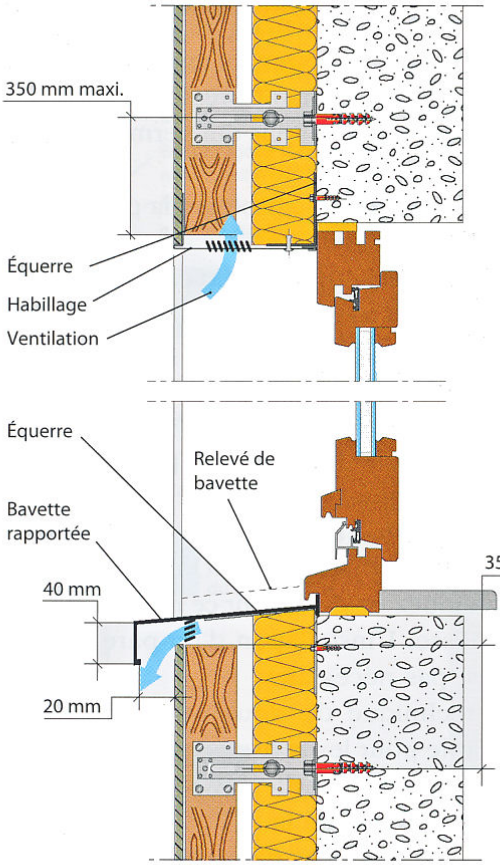


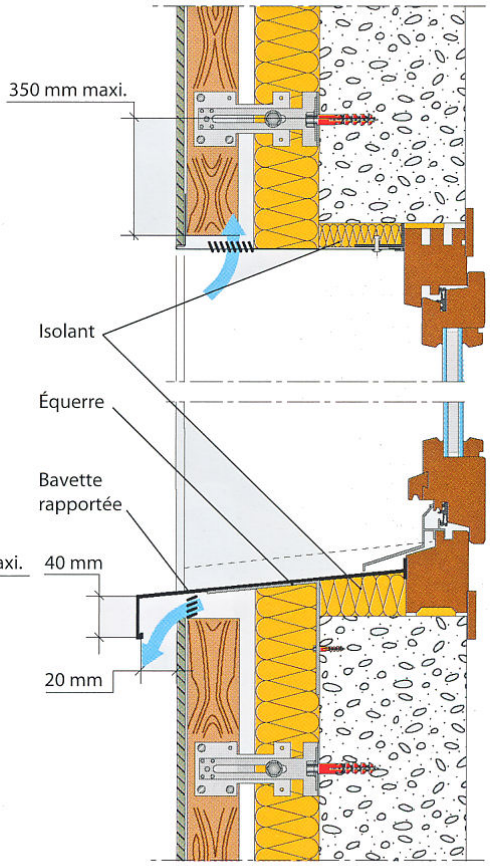
Figure 272 : Les points singuliers des bardages

Liaison des bardages avec les menuiseries

Fenêtre au nu extérieur

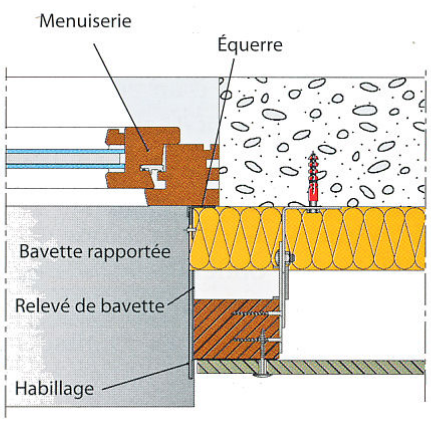


Fenêtre au nu intérieur



350 mm maxi.

Vue de dessus en coupe du tableau



Vue de dessus en coupe du tableau

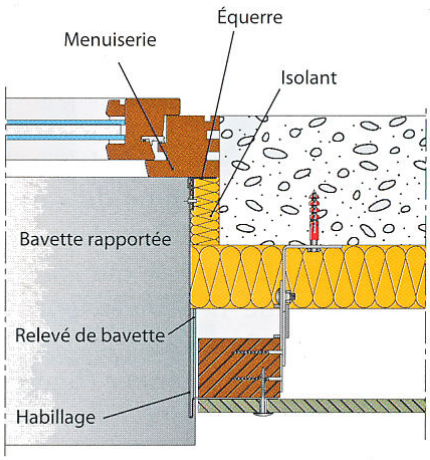


Figure 273 : Les bardages et les menuiseries

Placez un chevron dans l'alignement de l'habillage des tableaux, en tenant compte de l'épaisseur de l'isolant.

Les doubles murs

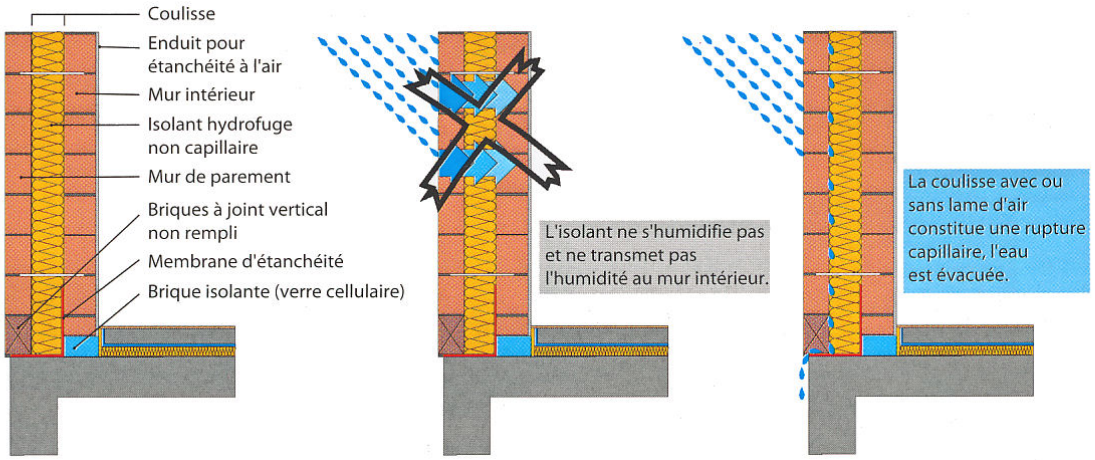
On peut considérer un double mur avec une coulisse isolée comme un système d'isolation par l'extérieur. La peau extérieure n'est plus un bardage mais une maçonnerie en petits éléments. La mise en œuvre des murs en petits éléments relève des techniques de maçonnerie et ne seront pas décrites, cependant il est important de signaler quelques règles à respecter pour mener à bien cette solution d'isolation.

Le double mur constitue la meilleure protection contre l'humidification du mur intérieur. En effet, la pluie est canalisée par la coulisse qui joue le rôle de chambre de décompression. L'eau s'écoule sur la face interne du parement et s'évacue vers l'extérieur (figure 274). L'isolant hydrophobe et non capillaire ne permet pas le passage de l'eau, le mur intérieur reste sec. De même l'évacuation naturelle de la vapeur d'eau est parfaitement maîtrisée. Le flux traverse le mur intérieur, l'isolant et se condense (en hiver) au contact du mur de parement puis l'eau est évacuée vers l'extérieur par la coulisse. Le premier rang de briques du mur de parement présente des joints verticaux non remplis qui permettent une évacuation de l'eau.
Il est important de protéger la partie inférieure de la coulisse avec une membrane d'étanchéité, afin de bien canaliser l'eau. Réalisez-la avec soin. Elle est nécessaire également au-dessus des portes et des fenêtres.

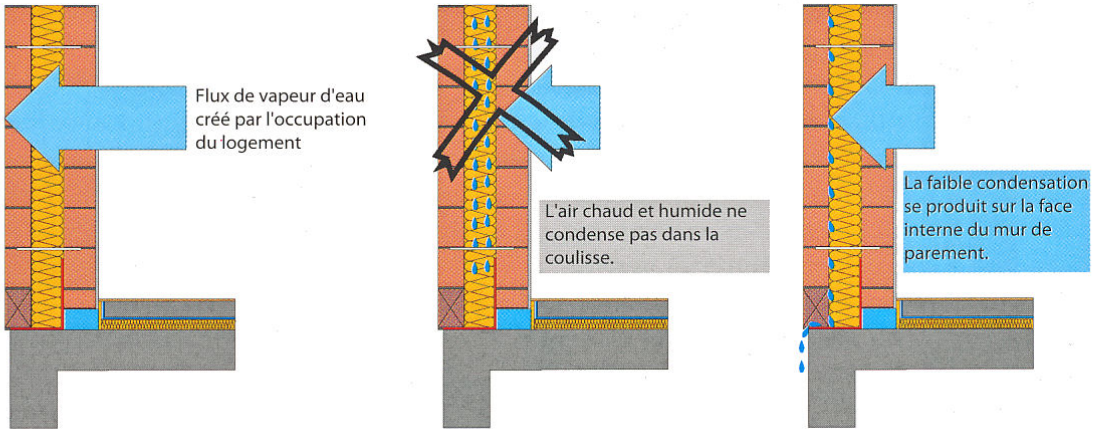
L'étanchéité à l'air est parfaitement assurée, grâce au mur intérieur qui doit être enduit. Si vous souhaitez conserver le mur brut (sans enduit) côté intérieur, appliquez un enduit sur ce mur, mais côté coulisse. L'installation d'un pare-vapeur n'est pas nécessaire.
La technique du double mur est aussi valable pour les maisons à ossature bois. Dans ce cas, installez un pare-vapeur du côté intérieur de la structure.
Les performances d'un double mur sans isolant sont inférieures aux exigences minimales de la RT. Par exemple, un double mur composé d'un parement en briques pleines de 9 cm, d'une coulisse de 6 cm, d'un mur porteur de 14 cm en briques creuses et d'un enduit intérieur, offre un coefficient U de 1,37 W/m².K. Avec un mur intérieur en blocs de béton mi-lourds, le coefficient U est de 2,17 W/m².K. Avec des blocs de béton cellulaire, on obtient 0,88 W/m².K. Ces chiffres montrent tout l'intérêt de mettre à profit l'espace de la coulisse pour y loger un isolant.
En condition normale, la coulisse peut être entièrement remplie par l'isolant.

Double mur et humidité

Comportement à la pluie



Comportement à la vapeur d'eau



Étanchéité à l'air

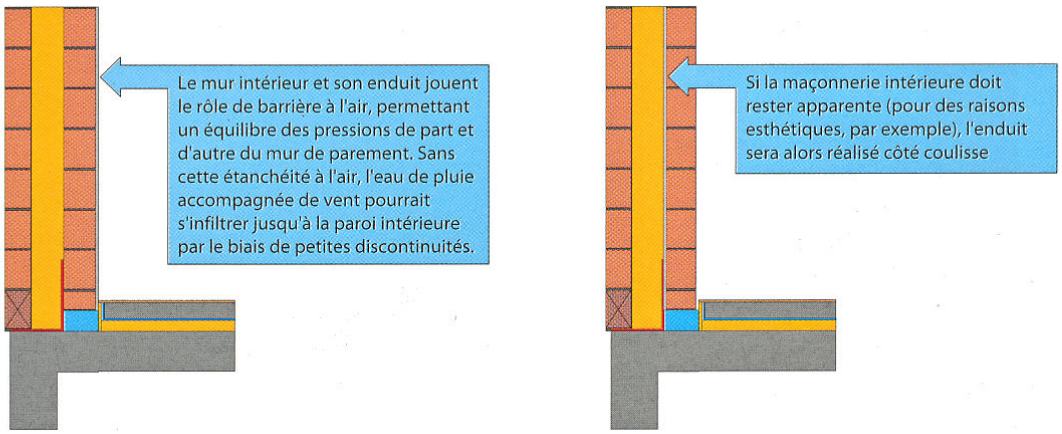


Figure 274 : Le double mur et l'humidité

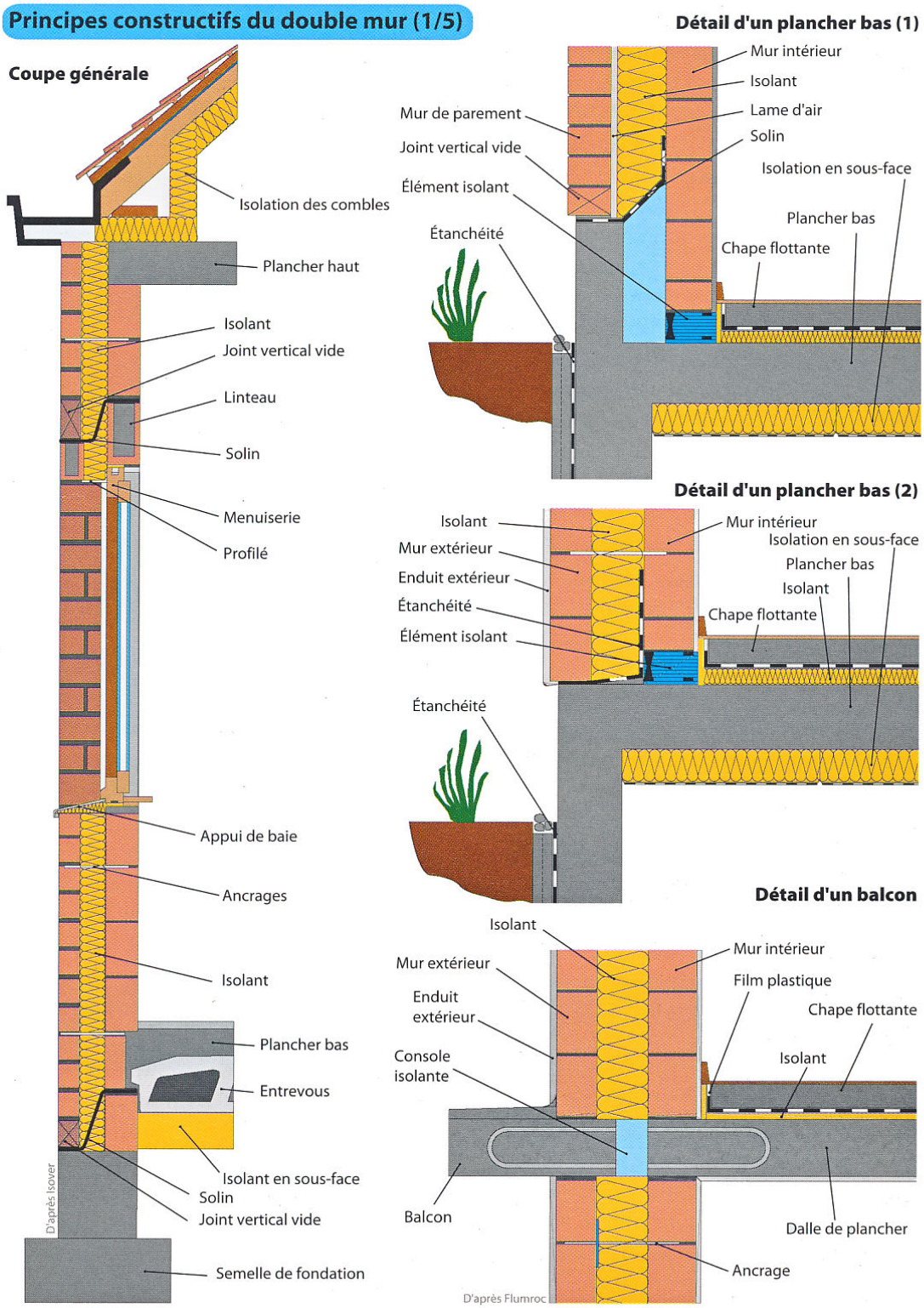


Figure 275 : Les principes constructifs du double mur (1/5)

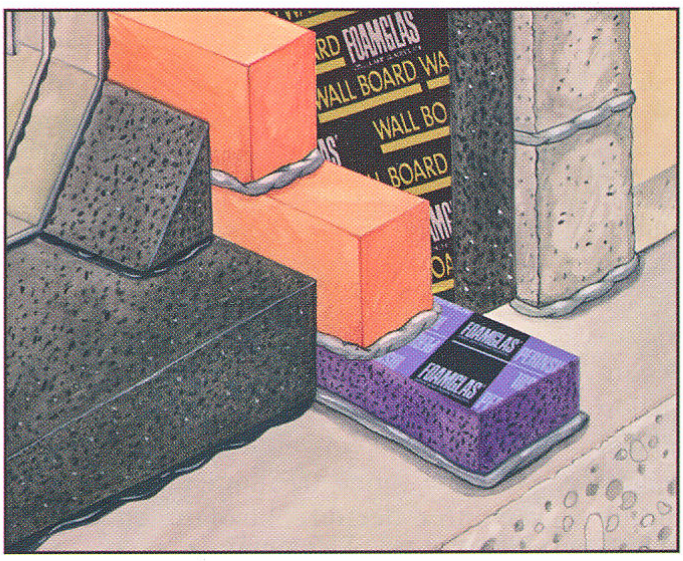
Si la paroi extérieure est très exposée aux intempéries, peinte ou composée de briques émaillées, il est indispensable de ménager une lame d'air de 2 ou 3 cm entre l'isolant et le dos du mur de parement.

Les principaux constituants du double mur sont (figure 275) : le mur porteur du côté intérieur, la coulisse avec son isolant, le mur de parement extérieur, les membranes d'étanchéité ou solins et les crochets qui relient le mur porteur au mur de parement. Ils servent également à maintenir l'isolant, grâce à des rondelles de blocage. Leur forme en goutte d'eau évite le ruissellement vers l'intérieur du mur.

L'isolant consiste en des panneaux rigides ou semi-rigides en plastique alvéolaire, verre cellulaire, laines minérales ou d'autres isolants comme le liège. Le plastique alvéolaire et le verre cellulaire réduisent la respiration naturelle de l'habitation du fait de leur imperméabilité à la vapeur d'eau.

En cas de rénovation d'un double mur, vous pouvez remplir la coulisse par insufflation de perlite, de laine minérale en flocons ou de billes de mousse de polystyrène expansé. Cependant, le remplissage complet de la coulisse augmente les contraintes thermiques sur la maçonnerie de parement, notamment en cas de gel. Cette solution n'est donc pas recommandée en rénovation pour des murs de parement dont les briques sont effritées ou les joints dégradés et si la paroi intérieure n'est pas étanche à l'air, c'est-à-dire non enduite.

En construction neuve, les murs de parement peuvent être en petits éléments tel que des briques en terre cuite, des briques, des blocs de béton ou des éléments en pierre naturelle. À cause de l'isolation, la paroi sera sollicitée : séchage plus lent, nombreux cycles de gel/dégel. C'est pourquoi les matériaux doivent être résistants au gel.
Le mur intérieur ne subit pas ces contraintes, il joue uniquement un rôle porteur.



© foamglass

Figure 276 :
L'utilisation de blocs constructifs isolants en pied de mur porteur

Il peut être en blocs de terre cuite creux ou pleins, en blocs de béton, en blocs de silico-calcaire, en béton cellulaire. Il peut s'agir également d'une ossature bois.
Le choix du double mur est valable avec un plancher sur terre-plein, sur sous-sol ou sur vide sanitaire. On considère que la dalle repose sur les fondations. Dans le cas d'une dalle sur terre-plein, le mur porteur et le parement reposent sur les semelles filantes. Préférez alors un système de dalle désolidarisée, si les conditions le permettent. De nombreuses solutions existent pour réaliser la base du double mur, dont certaines sont illustrées à la figure 275.

Lorsque la dalle se trouve au niveau du sol extérieur, il convient d'édifier le murs sur des éléments constructifs isolants, comme des blocs de verre cellulaire (figure 276). La partie inférieure du mur de parement ne doit pas être édifiée à partir du sol, mais à partir de 10 cm au minimum. Bâtissez le départ du mur de parement sur un relevé maçonné. Remplissez la partie inférieure de la coulisse d'un isolant plastique alvéolaire hydrophobe, comme du polystyrène extrudé. Taillez son bord supérieur afin de donner une pente au solin. Dans le haut de la coulisse, installez un isolant fibreux, par exemple.

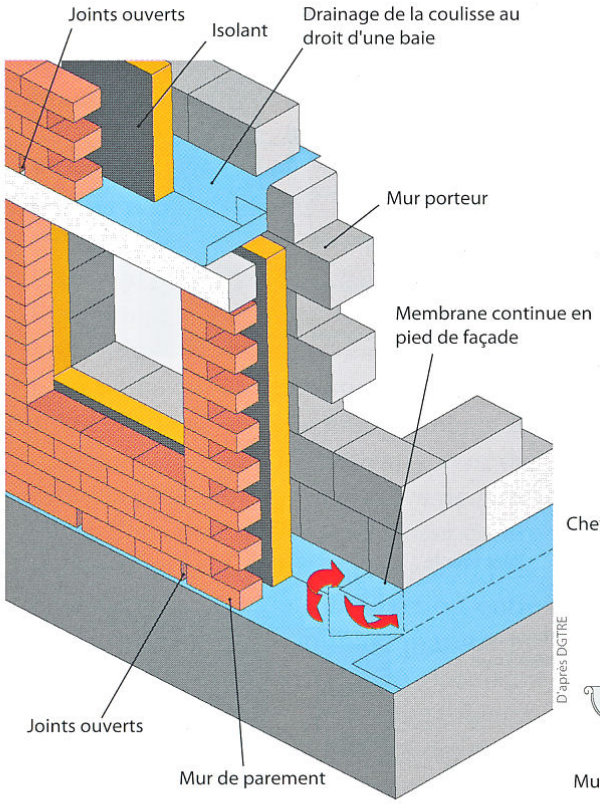
Pour l'isolation thermique du plancher bas, choisissez un isolant rapporté en sous-face, avec une chape flottante isolée côté intérieur. Les blocs constructifs isolants en pied de mur porteur permettent de respecter la continuité de l'isolation avec la coulisse, ce qui réduit fortement les ponts thermiques. Rappelons qu'il est nécessaire de réaliser des joints verticaux ouverts, dans le premier rang de briques du mur de parement, à raison de deux à trois par mètre pour permettre l'évacuation de l'eau.
Si la dalle est plus haute, le mur porteur et le parement débutent sur le même plan. La coulisse est entièrement remplie par l'isolant. Sur le parement, appliquez un enduit de protection perméable à la vapeur d'eau.
Enfin, comme dans tout projet constructif, la présence d'un balcon en dur produit toujours des ponts thermiques. La seule solution pour les limiter au maximum consiste à mettre en œuvre des rupteurs de pont thermique.

La continuité de l'isolation dans la coulisse doit être parfaite : panneaux adhérents au mur support et pose jointive. Pour les planchers intermédiaires (figure 277), choisissez la solution de la dalle en appui uniquement sur le mur porteur, ce qui implique qu'il soit parfaitement étudié pour supporter les charges. Cette solution est la seule qui permette de supprimer les ponts thermiques entre le mur et les planchers intermédiaires.
De même, soignez la continuité de l'isolation à la jonction avec la toiture. Que l'isolation soit intérieure, entre les chevrons, ou extérieure, par *sarking* ou caissons chevronnés, assurez toujours un bon contact avec l'isolant de la coulisse. Au niveau des pignons, l'isolant de toiture doit couvrir le mur porteur pour venir en contact de celui de la coulisse. Le mur de parement est prolongé jusqu'à la sous-toiture.

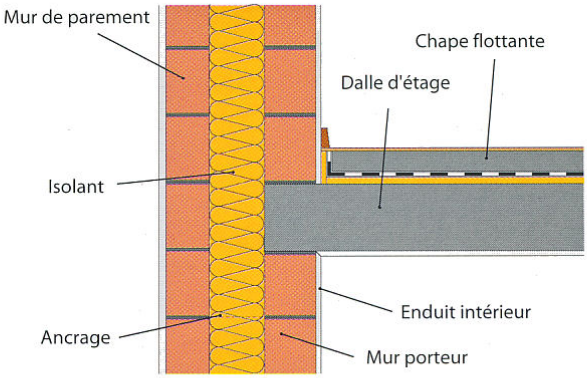
En bas, imprimer une légère pente à la membrane d'étanchéité, par exemple avec une forme de mortier et faites-la remonter derrière l'isolant en assurant la continuité en pied de façade.

Principes constructifs du double mur (2/5)

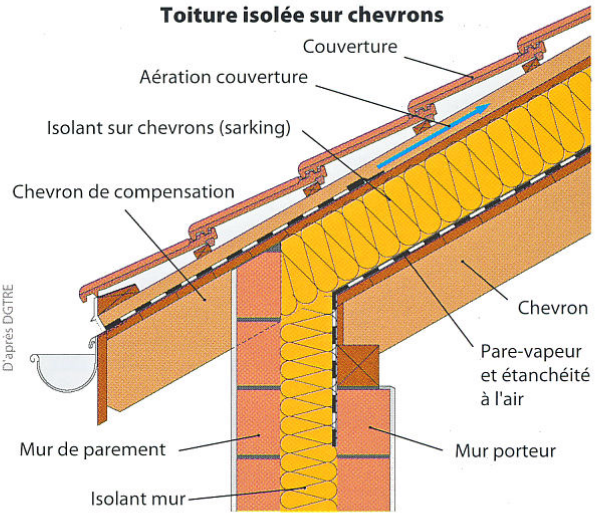
Drainage de la coulisse



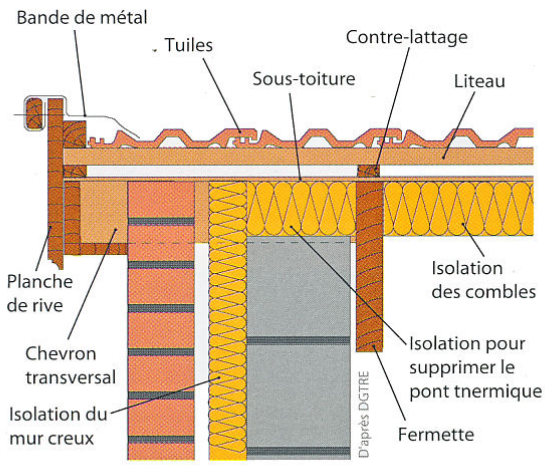
Étage courant



Toiture isolée sur chevrons



Isolation au niveau du pignon



Toiture isolée entre chevrons

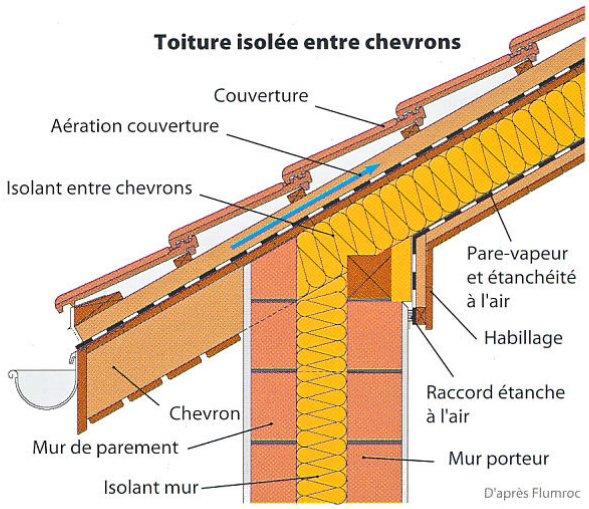
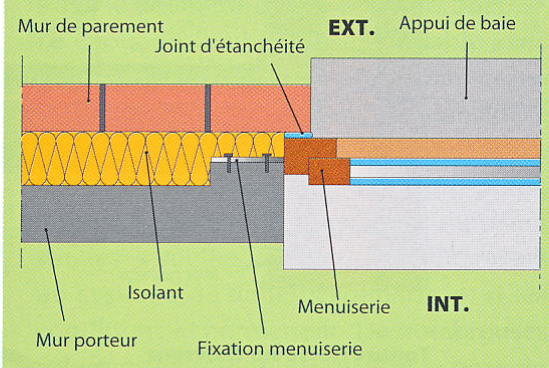
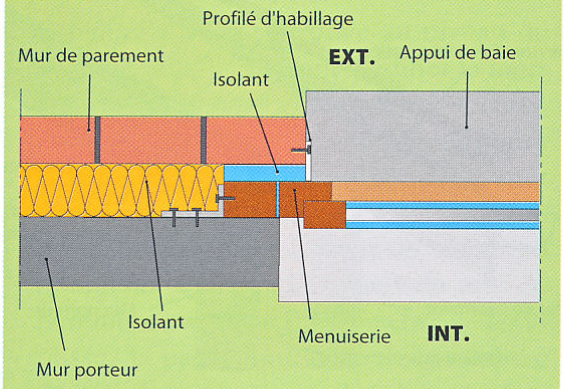


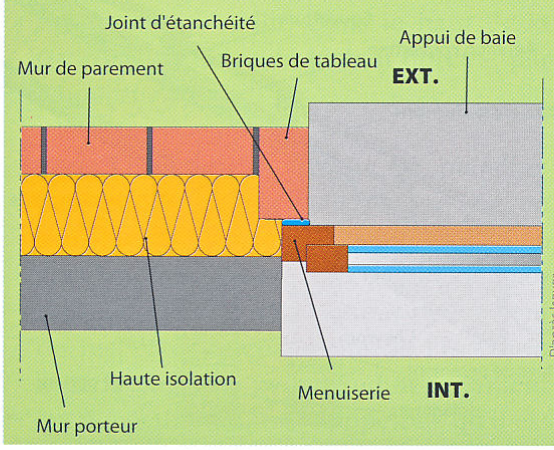
Figure 277 : Les principes constructifs du double mur 2/5

Principes constructifs du double mur (3/5)

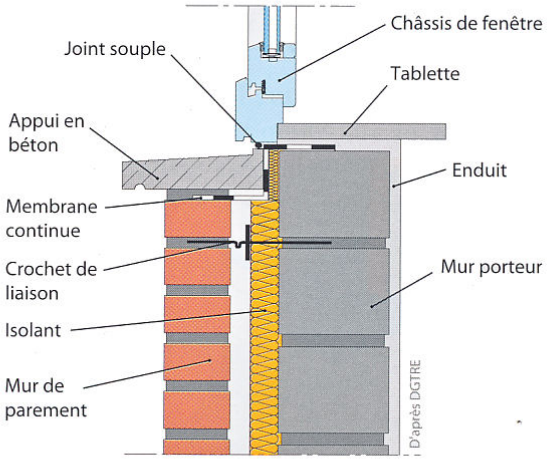
Détails des tableaux des baies (en coupe)
Différentes solutions

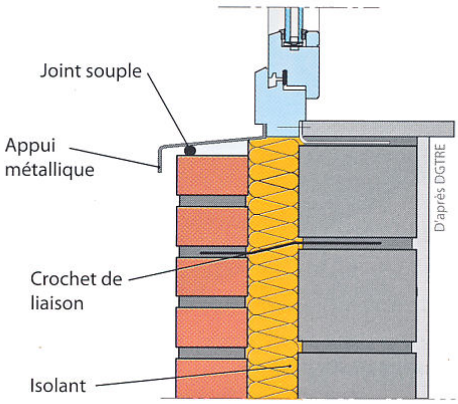






Détails des appuis de baies





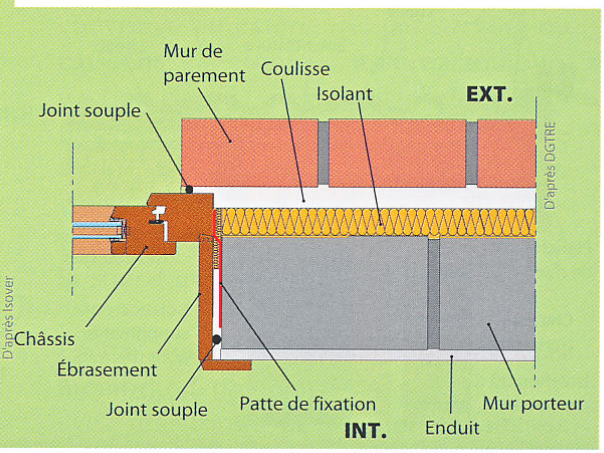


Figure 278 : Les principes constructifs du double mur 3/5

Vous pouvez la découper et la plier dans les angles ou utiliser des pièces d'angles préformées. Il peut s'agir d'une membrane bitumineuse pourvue d'une armature imputrescible comme un voile de verre ou de polyester, ou une membrane synthétique (PE, EPDM...), avec, de préférence, un agrément technique. Réalisez un drainage de la coulisse au-dessus des ouvertures, avec des relevés latéraux.
Placez le dormant des menuiseries dans le prolongement de l'isolant (figure 278). Vous pouvez les fixer au nu du mur extérieur ou en applique. Assurez l'étanchéité à l'air et à l'eau entre le mur porteur et les dormants. Habillez les tableaux avec des profilés ou un retour en briques de parement. Vous pouvez aussi les poser contre la face interne du mur de parement. Réalisez un joint souple à la jonction entre les dormants et le mur de parement. Fixez les pattes de fixation des dormants des percements faits dans les tableaux. Assurez l'isolation latérale des dormants avec la maçonnerie. Habillez les tableaux avec une tapée en ébrasement.

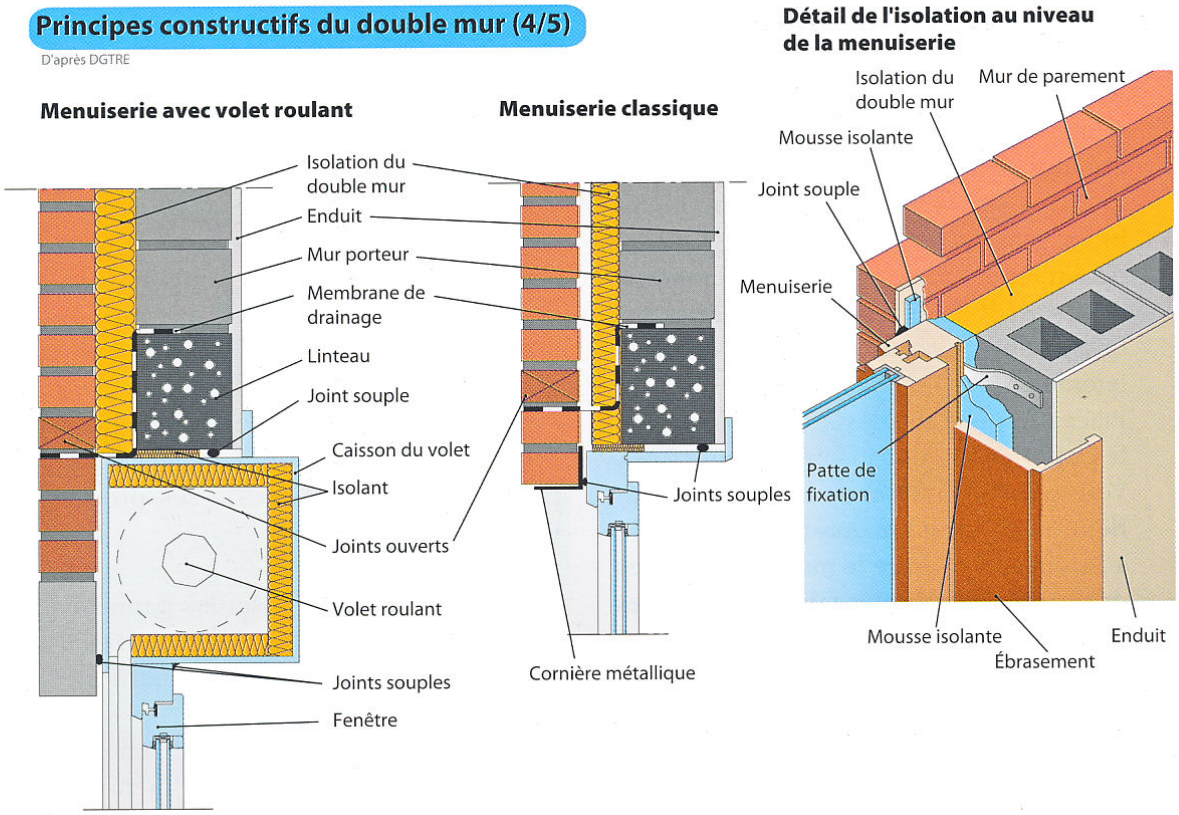
Afin d'éliminer tout risque d'infiltration au niveau de l'allège, si l'appui de baie est en béton, prenez soin de placer une membrane d'étanchéité sous toute la baie, en appui sur le mur porteur et le parement.
Dans le cas d'une bavette rapportée, prolongez l'isolant en contact avec le dormant de la menuiserie. Fixez-la au dormant en interposant une étanchéité et en la faisant reposer sur un joint souple, au niveau du mur de parement.
La figure 279 illustre les détails de la liaison entre la maçonnerie et les menuiseries. Notez la mise en place du solin, repris sur le linteau en béton. Veillez à laisser quelques joints de briques verticaux ouverts, pour permettre l'évacuation de l'eau. Si le bloc-baie est muni d'un coffre de volet roulant, réalisez le drainage au-dessus du coffre. Tous les contacts entre la maçonnerie et les parties de la baie doivent recevoir un joint souple pour permettre les mouvements différentiels entre ces éléments, sans dommages. Pour canaliser l'eau, respectez le positionnement de la membrane d'étanchéité au-dessus des ouvertures, avec le relevé latéral. Pliez la membrane pour assurer la continuité. Le mur de parement doit disposer de ses propres linteaux.

Rappelons qu'il faut poser les panneaux isolants en coupe de pierre et parfaitement jointifs avec le dormant des menuiseries.
Un autre schéma de détail présente les points singuliers à respecter au niveau de la menuiserie et de ses tableaux. La menuiserie ne doit jamais être en contact direct avec le mur de parement, afin de ne pas provoquer de transfert d'humidité.
Pour une construction avec toiture-terrasse, il est difficile de réaliser la continuité de l'isolant par-dessus l'acrotère (figure 280). Sur la dalle de la terrasse, l'assise de l'acrotère est dans l'alignement du mur porteur et se compose d'éléments constructifs isolants. L'intégralité de l'acrotère peut être réalisée en maçonnerie isolante.

Isolez la toiture-terrasse selon la même méthode que la toiture inversée. La continuité avec l'isolant de la coulisse est respectée et le pont thermique est grandement réduit.
Pour les balcons, la partie isolante des rupteurs de pont thermique doit se situer dans la coulisse. Les fers de renforcement

Principes constructifs du double mur (4/5)

D'après DGTRE



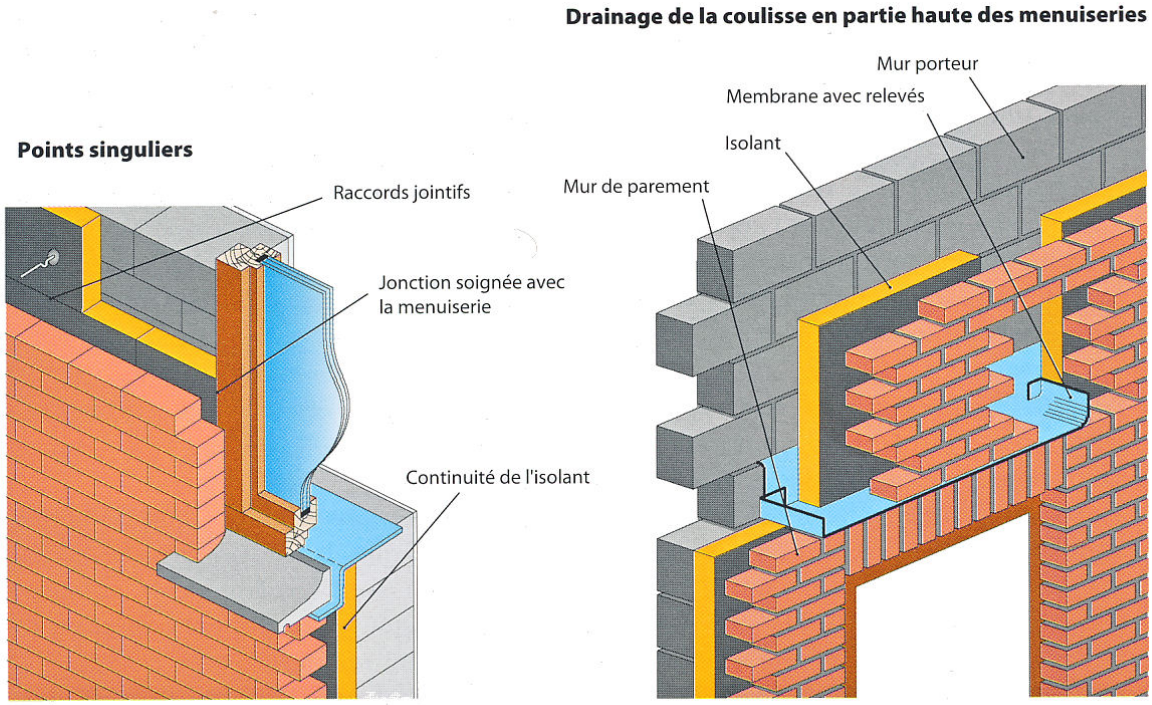
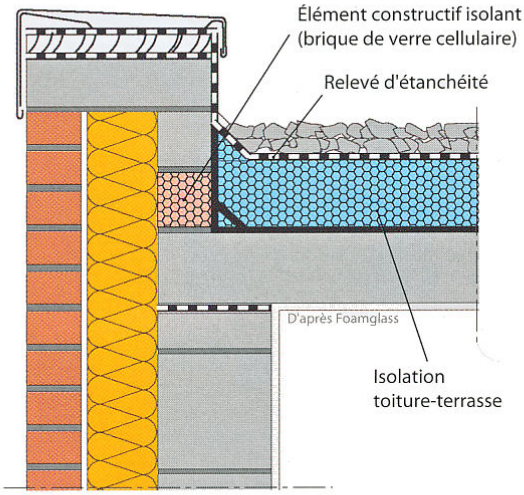


Figure 279 : Les détails constructifs du double mur 4/5

Principes constructifs du double mur (5/5)

D'après DGTRE

Mur double et toiture-terrasse



Mur double et balcon

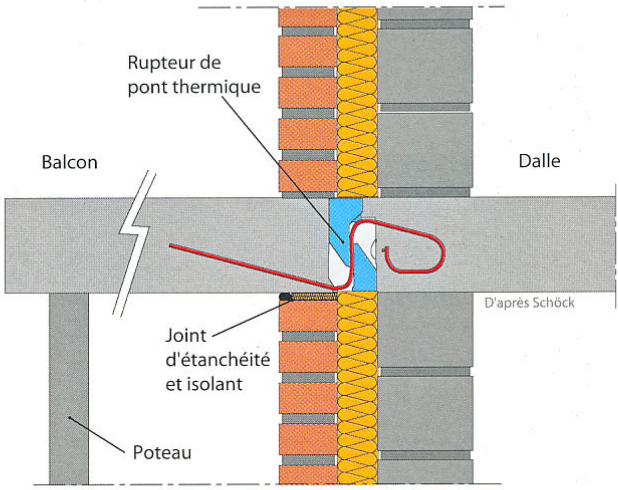


Figure 280 : Les principes constructifs du double mur (5/5)

sont intégrés à la dalle d'étage et à celle du balcon. Veillez à désolidariser le haut du mur de parement de la face inférieure du balcon, afin de laisser les mouvements différentiels du balcon s'effectuer librement.

Faites remonter la membrane d'étanchéité en bas du mur porteur sur une hauteur de 150 mm au minimum. Rabattez l'extrémité supérieure et insérez-la dans le joint des éléments de maçonnerie le plus proche.

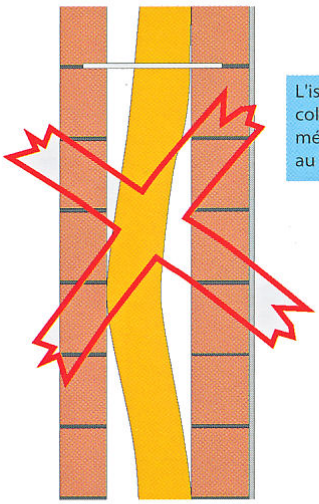
Utilisez des ancrages en acier galvanisé, d'un diamètre de 4 mm s'ils sont cylindriques ou d'une épaisseur de 3 mm au minimum s'ils sont plats.

Si le mur de parement est d'une épaisseur inférieure à 150 mm, posez-les dans les joints du mur porteur au fur et à mesure de son édification, à raison de trois par mètre carré au minimum. Si l'épaisseur du parement est comprise entre 150 et 200 mm, un ancrage par mètre carré au minimum est nécessaire. Ces valeurs sont valables uniquement pour la liaison mécanique sans présence d'isolant. S'ils sont également destinés à maintenir l'isolant, augmentez leur nombre à six par mètre carré, de façon qu'un panneau isolant de 1 000 mm x 600 mm comporte au moins trois points d'ancrage. Vous pouvez également en rajouter dans les angles pour parfaire le maintien de l'isolant. Inclinez les crochets légèrement vers le bas. La figure 281 présente des exemples de répartition. La profondeur des ancrages est au minimum de 50 mm dans la maçonnerie. De nombreux modèles sont disponibles. Ceux destinés aux laines minérales disposent d'une rosace pour bloquer l'isolant.

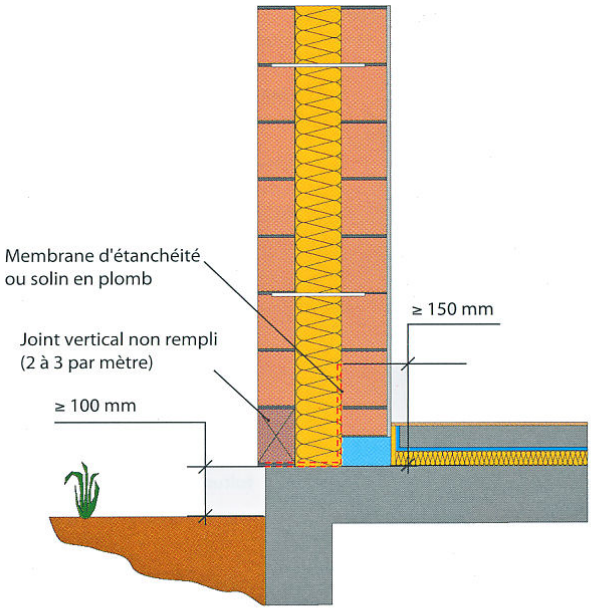
En Belgique, la mise en œuvre courante est appelée « technique hollandaise ». Elle consiste à monter le double mur en

Détails de mise en œuvre d'un double mur

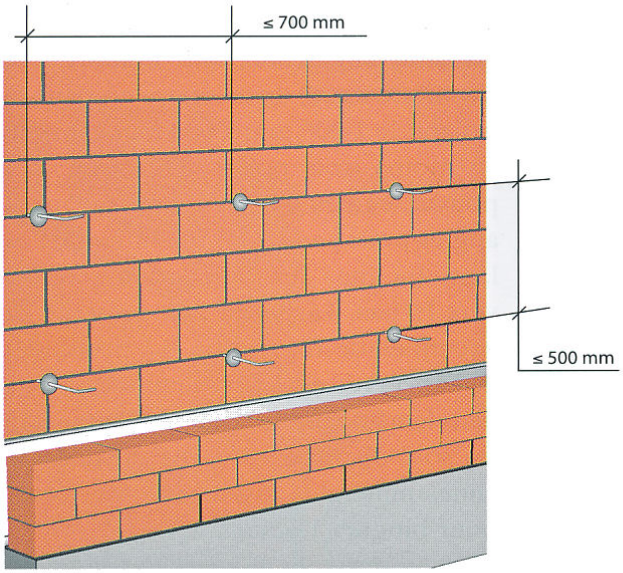
Pose de l'isolant



Hauteur du solin



Espacement des ancrages



Mise en place des ancrages

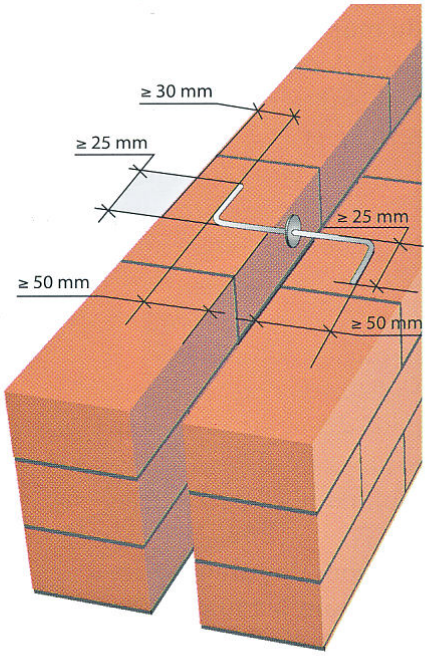
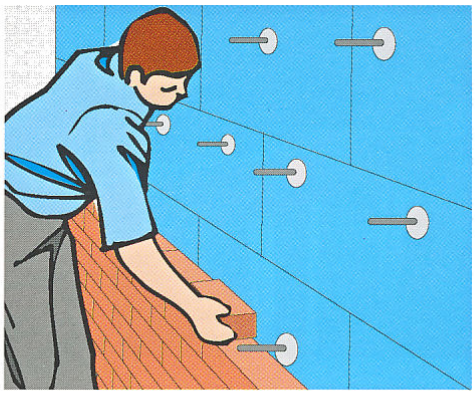


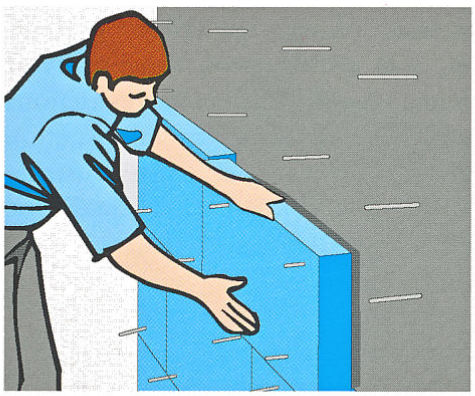
Figure 281 : Les détails de mise en œuvre d'un double mur

Mise en œuvre d'un double mur isolé

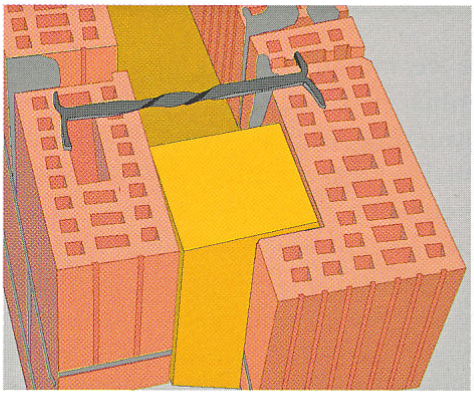
1 - *Selon le type d'isolant choisi, appliquez la colle au dos de l'isolant ou fixez-le avec les rondelles des ancrages (laine minérale).*



3 - *Après mise en place de l'isolant sur le mur porteur, procédez au montage du mur de parement extérieur en incorporant les ancrages.*



2 - *Mettez en place l'isolant contre le mur porteur muni de ses ancrages. Les éléments d'isolants doivent être plaqués contre le mur, fixés et à bord jointif pour éviter tout pont thermique.*



4 - *Pour un double mur isolé sans lame d'air, l'isolant est parfois posé à l'avancement. Les deux murs sont alors montés conjointement.*

Figure 282 : La mise en œuvre d'un double mur isolé

plaçant l'échafaudage à l'extérieur, en trois étapes : montage du mur intérieur, pose de l'isolant et montage du mur de parement (figure 282).

Érigez le mur intérieur en intégrant les solins partout où ils sont nécessaires. Installez ensuite les menuiseries. Embrochez les panneaux isolants dans les crochets d'ancrage et plaquez-les contre le mur en les maintenant en place pour poser les rosaces en plastique. Dans les angles, effectuez une pose par harpage. Au niveau des menuiseries, découpez l'isolant en respectant une marge de 1 cm supplémentaire afin d'assurer le contact parfait avec le dormant. Terminez par l'édification du mur de parement. La figure 283 présente en détail la pose de l'isolant et le montage du mur de parement.

© Rockwool x 2

Figure 283 : Exemple de mise en œuvre d'un double mur

L'isolation répartie

Dans ce chapitre, nous allons aborder plus en profondeur les principes constructifs des principaux matériaux d'isolation répartie que sont les monomurs en béton cellulaire et en terre cuite. Naturellement, tous les détails de mise en œuvre et cas spéciaux ne peuvent être traités, cependant l'autoconstructeur trouvera les informations essentielles pour mener à bien son projet. Pour les aspects et détails spécifiques propres à chaque produit, reportez-vous aux documentations du fabricant.

Quel que soit le système constructif retenu, il faut posséder des notions et une certaine expérience en construction. S'ils demandent un certain savoir-faire, ces systèmes constructifs en maçonnerie roulée présentent aussi l'avantage de ne pas nécessiter un outillage important. Si vous débutez, réfléchissez bien avant d'opter pour l'autoconstruction. Si vous faites appel à un professionnel, vous ne serez jamais trop informé sur les techniques et règles à respecter. Cet ouvrage sera une base pour vous permettre de vérifier la bonne exécution des travaux. Dans tous les cas, les études préliminaires à la construction doivent avoir été faites (nature du terrain, restrictions constructives, types de fondations, etc.). Comme tout autre, ce type de construction doit reposer sur des fondations parfaitement calculées et réalisées dans les règles de l'art.

Le béton cellulaire

© Xella

Nous décrirons uniquement le système constructif à base de petits éléments (figure 284). En effet, il existe également des blocs jumbo et des panneaux de hauteur d'étage qui requièrent une mise

en œuvre particulière et le recours à des engins de levage.
Les constructions en blocs de béton cellulaire doivent répondre aux prescriptions du DTU 20-1 (*Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs*).

Outre les blocs constructifs, il faut prévoir un certain nombre de blocs spéciaux comme les linteaux, les blocs de chaînage ou d'angle... Choisissez le mortier-colle spécifique indiqué par le fabricant, avec un applicateur adapté (truelle crantée de la même largeur que les blocs). Une taloche grattoir est indispensable ainsi qu'une scie pour la découpe des blocs. Pour débiter un grand nombre d'éléments, la scie à ruban sur table est très pratique.
L'épaisseur minimale des blocs pour les murs porteurs est de 20 cm. L'épaisseur dépend du budget et des performances thermiques souhaitées.
La mise en œuvre est possible sur tout type de plancher bas : dalle sur terre-plein ou dalle sur sous-sol ou vide sanitaire.

Si la dalle est sur terre-plein, préférez-la désolidarisée, si le sol le permet naturellement. Sur les semelles filantes de fondation, montez les murs de soubassement, en parpaings pleins ou à bancher, sur une hauteur supérieure de 10 cm au

© Ytong

Figure 284 : Exemple de construction en béton cellulaire

minimum du sol fini. Coulez la dalle sur terre-plein sur un isolant, en prenant soin de la désolidariser des soubassements avec une bande d'isolant périphérique rigide. Réalisez une arase de mortier hydrofuge de niveau qui servira d'assise à la paroi en blocs de béton cellulaire (figure 285). Montez les blocs en maçonnerie roulée, dont les joints font 2 mm environ. Prenez soin de décaler les joints verticaux d'un rang sur l'autre. Si le plancher bas est sur un vide sanitaire ou un sous-sol, la réalisation des soubassements est similaire, cependant coiffez-les d'une arase de mortier étanche.

Plusieurs types de planchers intermédiaires sont réalisables. La meilleure solution consiste à utiliser des dalles de plancher armées en béton cellulaire. Elles sont fabriquées sur mesure et peuvent atteindre une portée maximale sans appuis de plus de 5,50 m en fonction des épaisseurs et des charges admissibles. Placez ces dalles sur l'arase étanche, réalisez le chaînage horizontal, puis posez des planelles isolantes sur tout le pourtour de la construction. Entre les dalles, il existe un espace destiné au clavetage, avec des fers tors de 10 mm de diamètre, qui seront noyés dans le mortier en même temps que le chaînage horizontal. L'élévation des murs s'effectue directement au mortier-colle.

Vous pouvez également créer un plancher en hourdis béton et une chape de compression, mais l'isolation sera beaucoup moins performante. En rive, le chaînage périphérique est classique, mais vous pouvez insérer un isolant entre le plancher et la planelle afin de réduire le pont thermique. L'épaisseur d'isolant nécessaire dépend de celle des blocs.

Pour un plancher bas, coulez-le sur une arase étanche. En partie supérieure, réalisez une arase de mortier, de niveau. Une fois sèche, elle permettra le collage direct des blocs au mortier-colle.
Les soubassements peuvent également être réalisés en béton cellulaire. Les blocs reposent sur une arase de mortier hydrofuge sur les semelles de fondation. Sur les parois de soubassement, appliquez une étanchéité et une protection, par exemple en panneaux de polystyrène (voir figure 284).

Les systèmes de plancher en hourdis sont destinés aux planchers intermédiaires. Dans ce cas, le plancher repose sur le mur en blocs constructifs, tout comme un plancher en dalles de béton cellulaire. Les poutrelles précontraintes doivent reposer sur le mur porteur avec une largeur d'au moins 7 cm.
Dans le cas des planchers bas, la réalisation d'une chape flottante avec isolant thermique permettra d'améliorer les performances.
Vous pouvez aussi opter pour un plancher léger. Les solives doivent alors reposer sur un chaînage horizontal et un appui glissant, comme des cales de contre-plaqué, pour permettre les variations dimensionnelles du bois, sans dommages. De même, intercalez un isolant souple en butée de solive, dans le fond de l'encoche découpée dans le bloc. La figure 285 illustre le détail de la liaison entre les dalles de plancher en béton cellulaire et le chaînage horizontal.

Les murs de refend aussi peuvent être en éléments de béton cellulaire. Vous pouvez les réaliser par engravement, de 5 cm minimum dans le mur porteur, si celui-ci a une épaisseur d'au moins 30 cm.

Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire 1/4

Source Xella

Les planchers

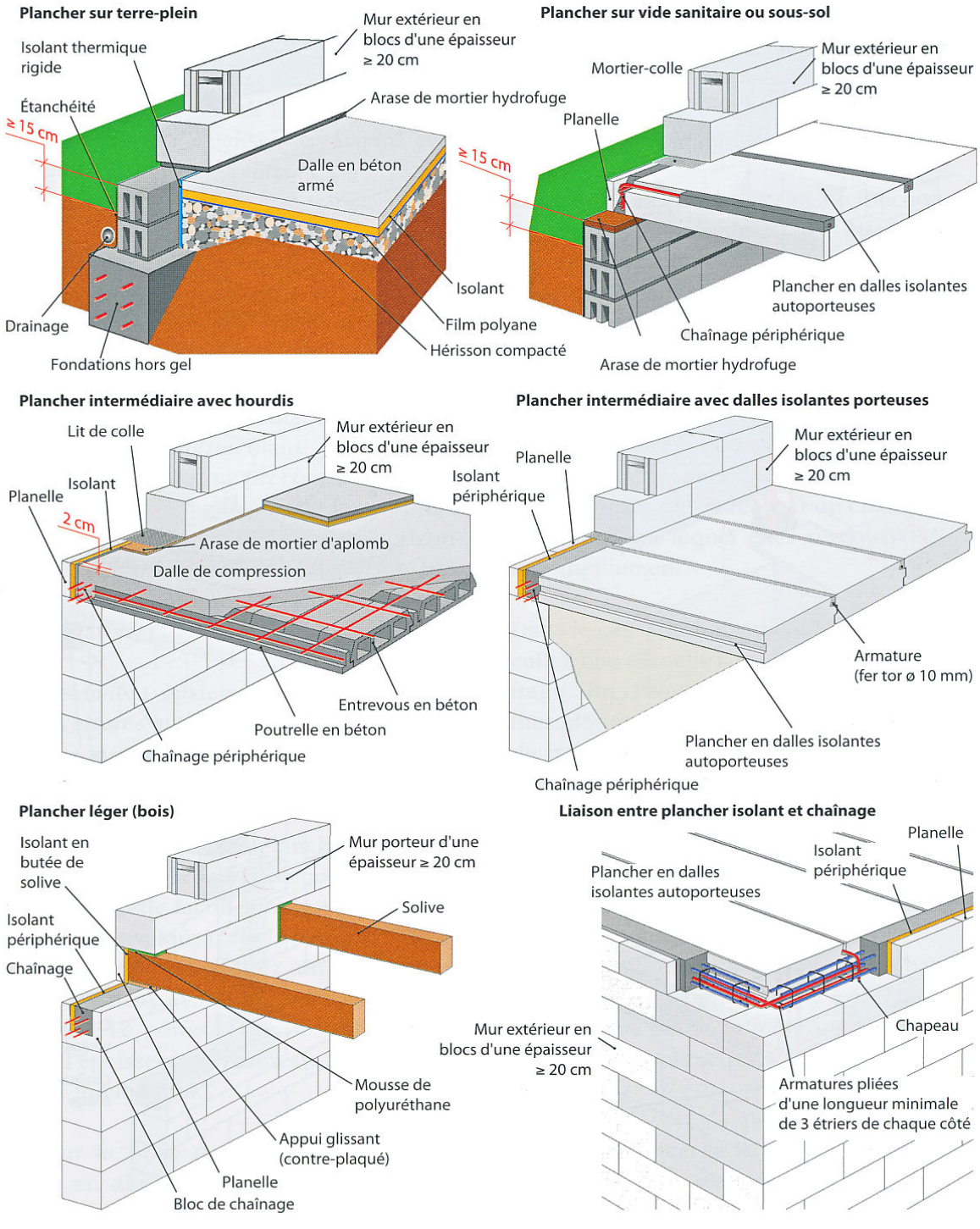


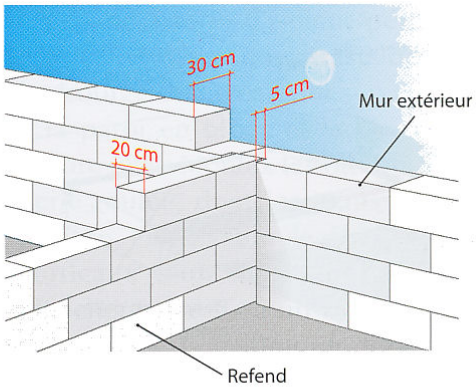
Figure 285 : Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire (1/4)

Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire 2/4

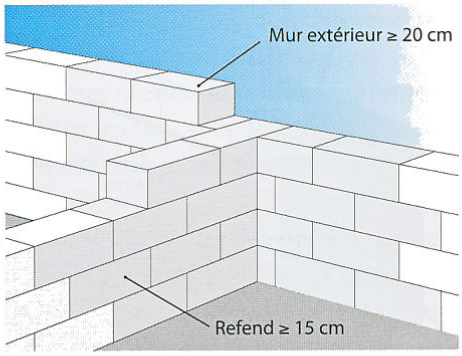
Source Xella

Les refends et les balcons

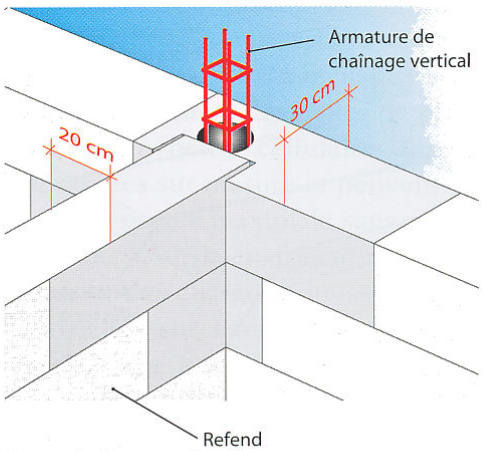
Jonction par engravement



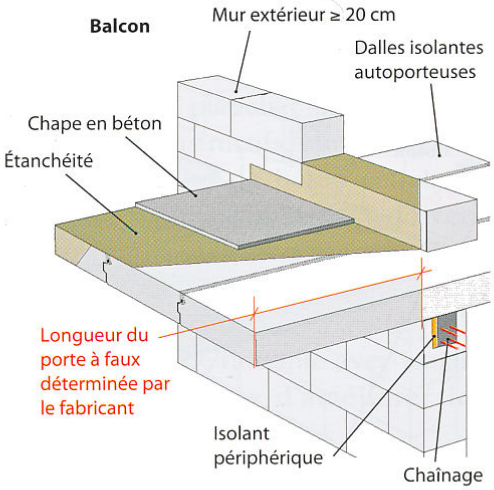
Jonction par harpage



Jonction avec chaînage vertical



Balcon



Zones à risques sismiques

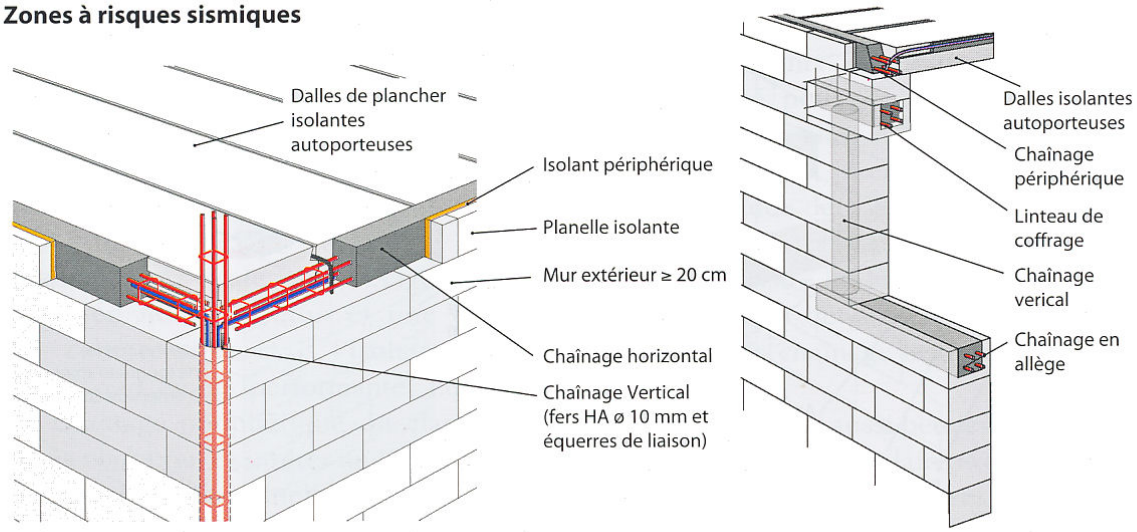


Figure 286 : Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire (2/4)

Lorsque l'épaisseur des murs porteurs est moindre, vous pouvez choisir l'édification par harpage (figure 286).
S'il est nécessaire de prévoir un chaînage vertical intermédiaire, utilisez des blocs de 30 cm d'épaisseur au moins pour le mur extérieur. Réalisez le raccord avec le refend par engravement.

Pour une maison individuelle en petits éléments de béton cellulaire (mais également en briques ou parpaing), réalisez des chaînages verticaux dans les angles saillants ou rentrants. Vous devez éventuellement créer des chaînages au milieu des murs porteurs, notamment si le plancher intermédiaire est une dalle en béton armé ou précontraint. Armez ces chaînages verticaux de fers repris à angle droit dans les chaînages horizontaux des planchers lourds hauts et bas. En zone sismique, ces chaînages sont obligatoires.

Il convient également de renforcer les ouvertures avec des chaînages verticaux dans les jambages et repris sur un chaînage en allège et dans les linteaux.
En ce qui concerne les balcons, l'utilisation de dalles de plancher en béton cellulaire est la seule solution qui permet de limiter de façon simple et efficace les ponts thermiques. Sur la partie extérieure des dalles, appliquez un revêtement d'étanchéité avant de couler la chape en béton. Le porte-à-faux possible dépend de l'épaisseur du panneau. Il est calculé par le fabricant.

Pour la pose des fenêtres, placez un fer en allège dans le dernier rang de blocs entiers situé sous la menuiserie. Au centre des blocs, réalisez une gorge de 5 x 5 cm au moyen d'une scie sauteuse, par exemple, et dépassant de part et d'autre de l'emplacement de la baie (figure 287). Placez ensuite les blocs découpés à la hauteur souhaitée pour la menuiserie, les appuis en béton et une planelle du côté intérieur. Au niveau des tableaux, réalisez une feuillure destinée à recueillir le dormant de la fenêtre.

En ce qui concerne le linteau, en fonction des charges à reprendre, il peut être armé porteur, en béton cellulaire ou en béton armé coulé dans des blocs de coffrage en U. Le trumeau, c'est-à-dire la largeur de mur porteur entre deux linteaux, doit être supérieur à la largeur d'un bloc et demi.
Pour l'installation de volets roulants, utilisez des blocs spéciaux autoporteurs.
Si les fermettes reposent sur un linteau de baie, vous devez réaliser un chaînage horizontal sur lequel elles seront fixées mécaniquement.

Dans le cas d'un linteau coulé sur place, collez une planelle sous les blocs de coffrage afin d'améliorer les performances thermiques amoindries par la présence du béton armé.
Réalisez des joints parfaits pour les menuiseries pour assurer l'étanchéité à l'air et à l'eau. Pour placer les pattes de scellement, réalisez au préalable des découpes à la scie sauteuse en forme de queue d'aronde.
Pour la fixation des gonds de volets battants, effectuez un percement à 45 ° dans les blocs de béton cellulaire. Assurez la fixation en optant pour un scellement chimique.

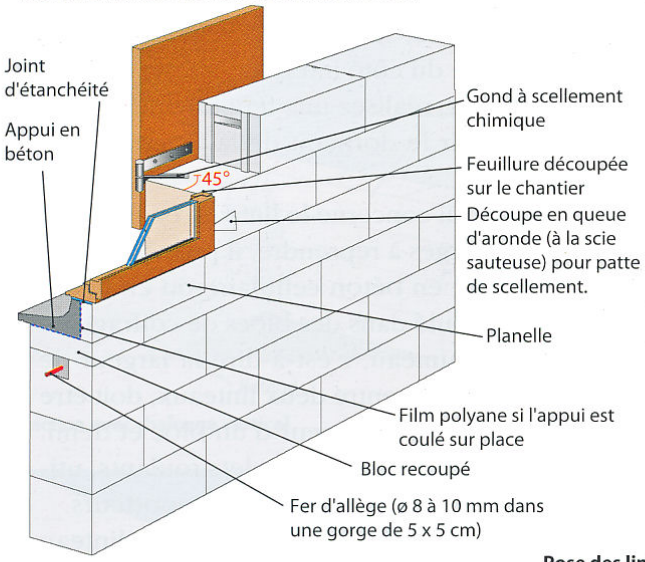
En ce qui concerne la toiture, elle peut également être réalisée avec des dalles de béton cellulaire autoportantes (figure 288). Ce système est peu utilisé en France, malgré le bénéfice qu'il apporte pour les combles en termes de confort

Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire 3/4

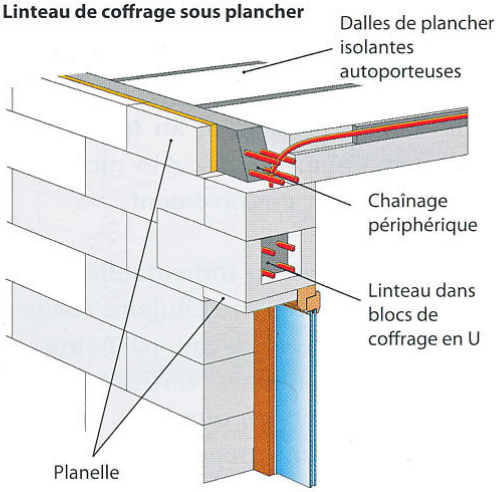
Source Xella

Incorporation des menuiseries

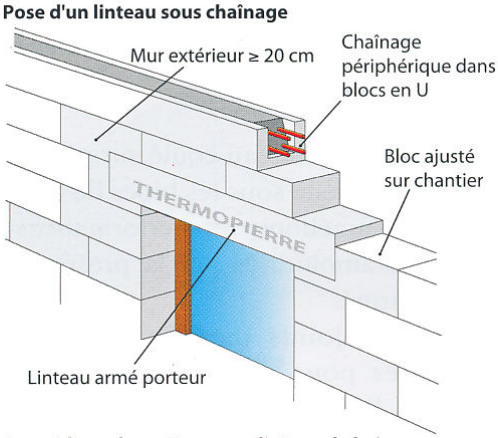
Scellement d'une menuiserie au nu intérieur



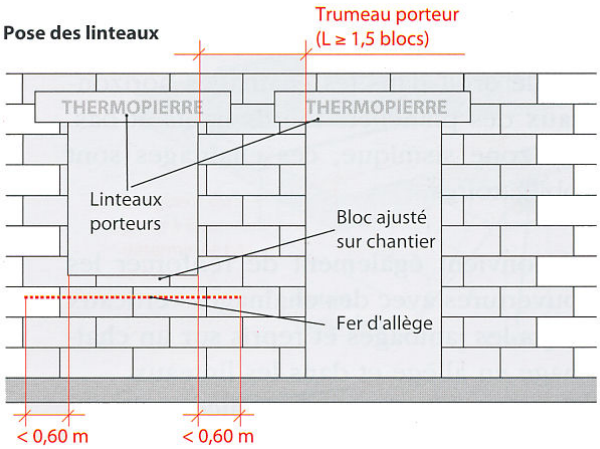
Linteau de coffrage sous plancher



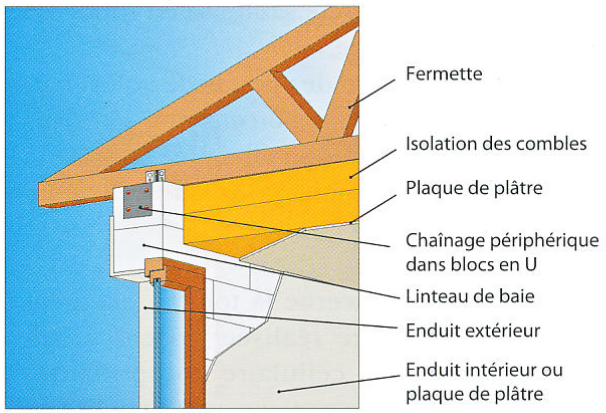
Pose d'un linteau sous chaînage



Pose des linteaux



Appui d'une fermette sur un linteau de baie



Coffre de volet roulant autoportant

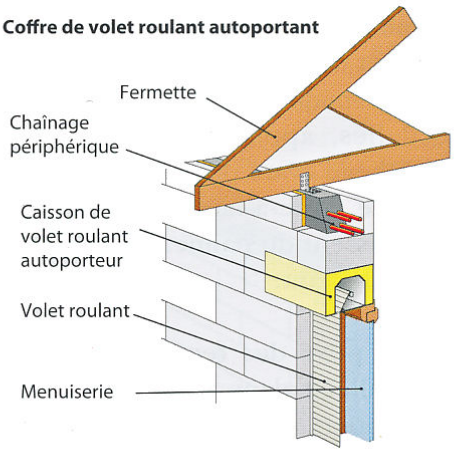


Figure 287 : Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire (3/4)

Figure 288 : La pose de dalles de toiture en béton cellulaire

d'été. Les dalles de toiture doivent être posées perpendiculairement à la pente du toit, en prenant appui sur les pignons et les éventuels refends. Au niveau des façades, les plaques reposent sur un chaînage horizontal jouant le rôle de panne sablière. Réalisez également un chaînage au niveau du faîtage (figure 289).

Dans les rainures entre les dalles, placez des fers filants sur toute la longueur de la toiture et ancrez-les dans les chaînages des pignons et des refends. Coulez ensuite un béton dans les rainures pour réaliser le clavetage des dalles. Recouvrez l'ossature de toiture ainsi créée d'un pare ou freine-vapeur continu. Fixez mécaniquement un chevronnage en bois sur les dalles. Pour améliorer encore les performances de la toiture et limiter les mouvements différentiels dus à la chaleur, installez un isolant thermique complémentaire entre les chevrons. Ils accueilleront les liteaux et les éléments de couverture.

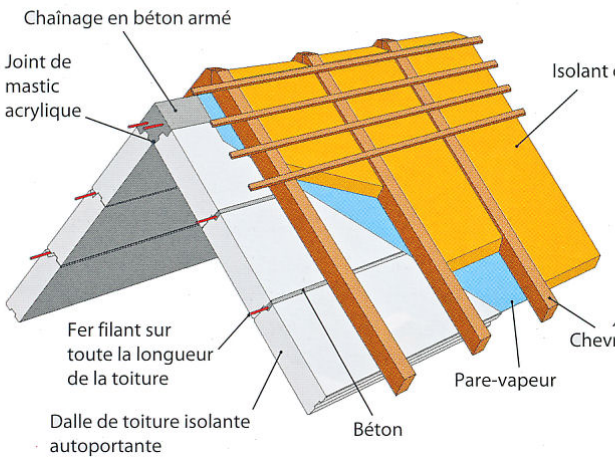
Vous pouvez également installer une charpente traditionnelle avec pannes et chevrons. Dans ce cas, découpez sur le chantier le logement des pannes. Vous les ferez reposer sur un appui glissant,

Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire 4/4

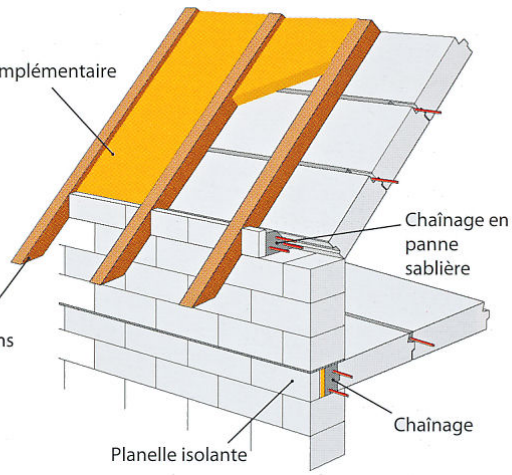
Source Xella

La toiture

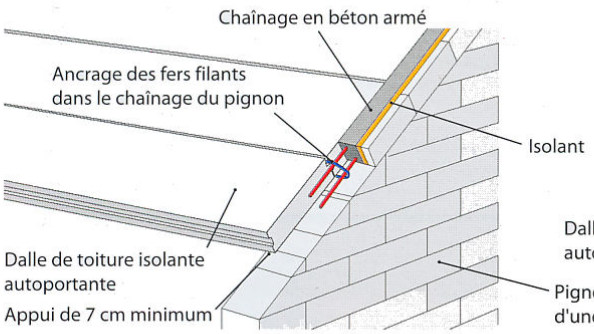
Toiture en dalles isolantes et autoporteuses (faîte)



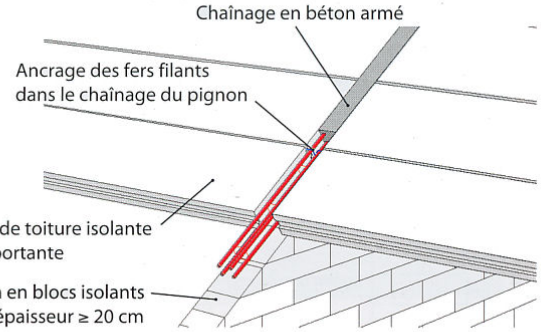
Toiture en dalles isolantes et autoporteuses (panne sablière)



Toiture en dalles isolantes (ancrage sur pignon)



Toiture en dalles isolantes (ancrage sur pignon en refend)



Toiture traditionnelle

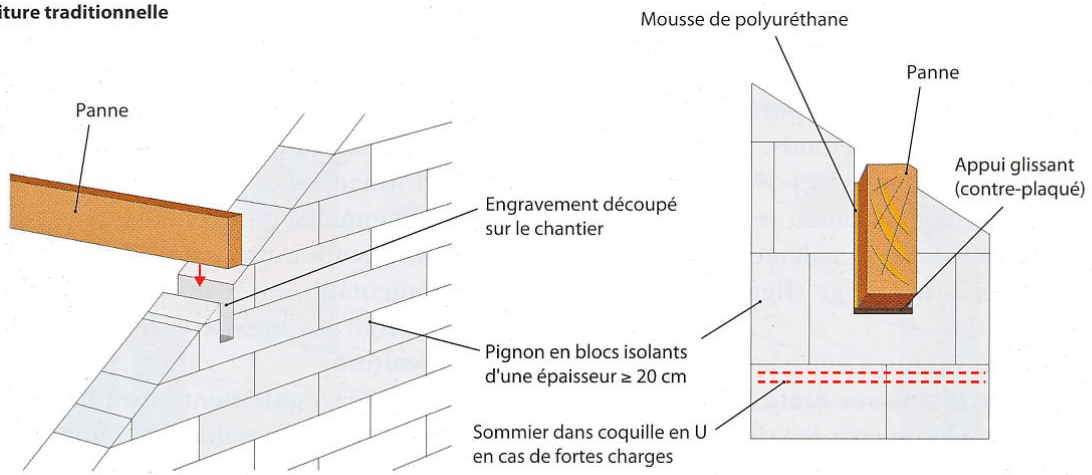


Figure 289 : Les détails constructifs d'une isolation répartie en béton cellulaire (3/4)

comme une plaque de contreplaqué. Pour l'étanchéité avec la maçonnerie, utilisez une mousse expansive de polyuréthane. Si vous optez pour une charpente industrialisée, fixez les fermettes mécaniquement sur le chaînage horizontal.

La pose des blocs de béton cellulaire s'effectue sur une arase de mortier étanche si nécessaire, de niveau ou directement sur la dalle si elle est en béton cellulaire, avec dans ce cas un mortier-colle. La figure 290 illustre les différentes étapes à suivre pour le montage.
Le premier bloc doit être posé dans un angle. Pour ce faire, lorsque le mortier d'arase est parfaitement sec, appliquez du mortier-colle au moyen de la truelle crantée. Les photos suivantes montrent la mise en place d'un bloc de chaînage vertical. Attention, comme il s'agit d'un exemple, le chaînage n'apparaît pas. Posez le bloc dans la colle et frappez-le avec le maillet en caoutchouc pour bien répartir la colle. Encollez le côté du bloc correspondant à la largeur du mur de retour, pour pallier l'absence de languette à cet endroit, puis l'arase où prendra place le bloc suivant. Tapez toujours au maillet, puis continuez la pose selon la même méthode. Cependant, veillez dès le deuxième bloc à ne pas encoller les joints verticaux. En effet, l'emboîtement dans les profils est suffisant.

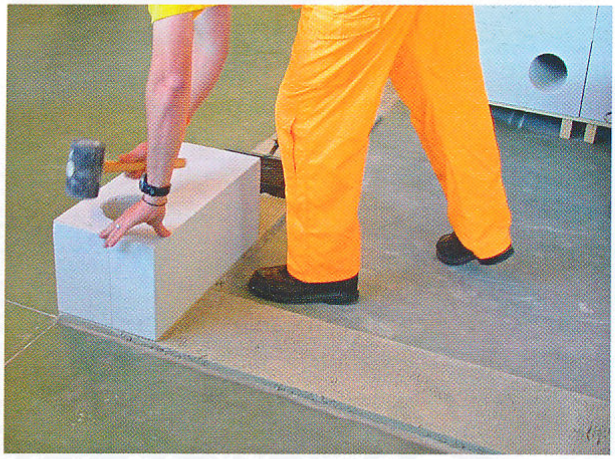
Vérifiez à l'avancement le bon alignement de la première rangée de blocs avec une règle de 2 m. Corrigez si nécessaire l'alignement et l'horizontalité des blocs en donnant de petits coups de maillet en caoutchouc.

Lorsque le premier rang est posé, frottez la face supérieure des blocs au moyen d'une taloche à poncer. Cette opération est destinée à égaliser la surface d'appui pour le second rang. Époussetez, appliquez du mortier-colle dans l'angle de départ, puis posez l'élément d'angle du deuxième rang. Progressez en coupe de pierre. Posez le bloc suivant de la même manière que pour le premier rang et poursuivez le montage de la même façon pour les rangs suivants. Pour la découpe

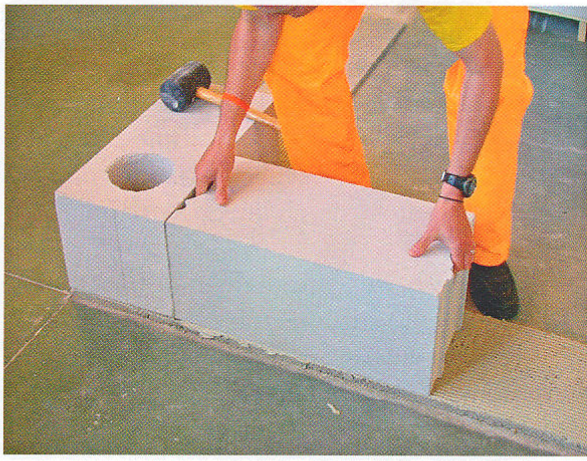
1 Appliquez du mortier-colle sur l'arase de mortier.

2 Posez un bloc d'angle pour chaînage vertical.

Figure 290 : La mise en œuvre de blocs de béton cellulaire

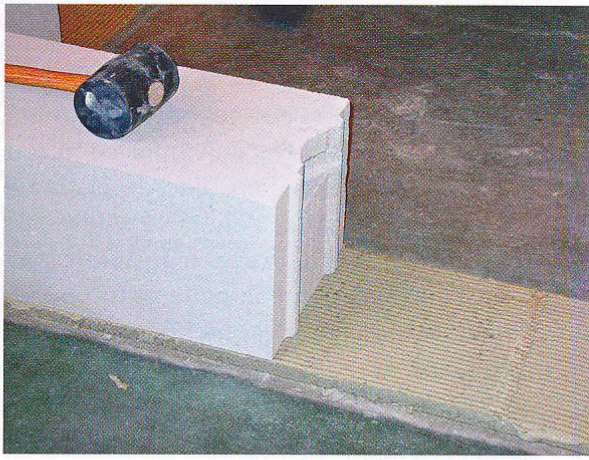


3 Collez le bloc d'angle.

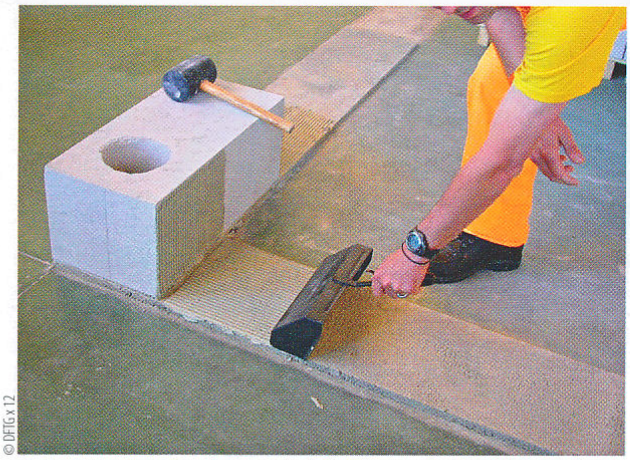


6 Posez le deuxième bloc.

4 Appliquez du mortier-colle sur le côté du bloc d'angle.

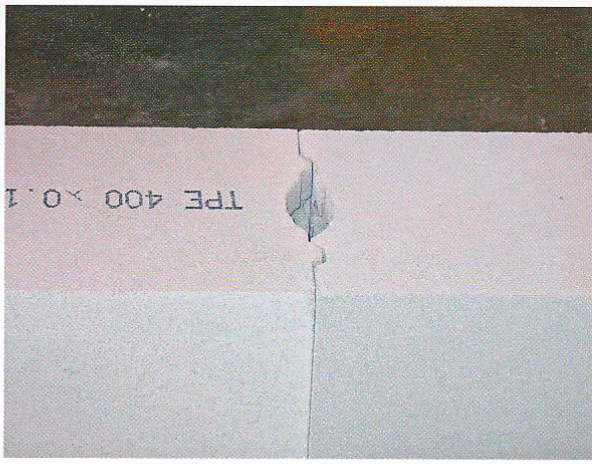


7 Réglez le bloc, puis encollez l'arase uniquement.



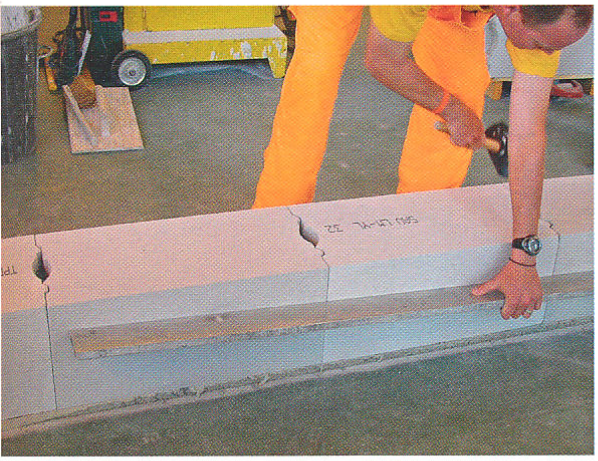
© DFTG x 12

5 Appliquez du mortier-colle sur l'arase pour le deuxième bloc.

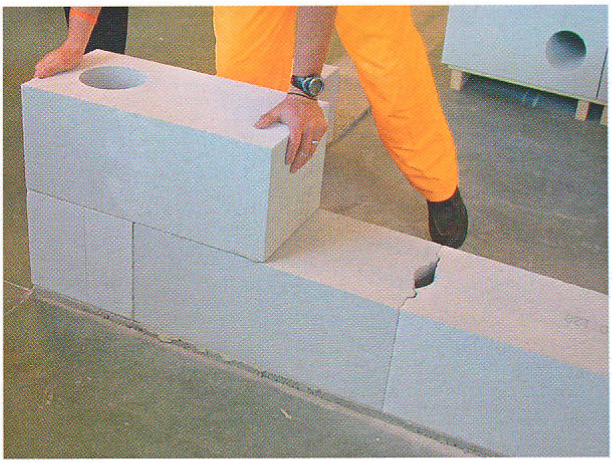


8 Posez le bloc suivant, sans remplir les joints verticaux.

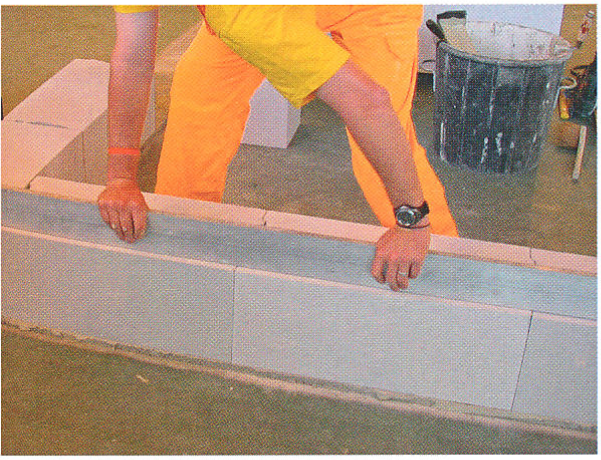
Figure 290 : La mise en œuvre de blocs de béton cellulaire (suite)



⑨ Vérifiez l'alignement, et corrigez si nécessaire.



⑫ Appliquez du mortier-colle, puis posez le bloc d'angle du deuxième rang, en coupe de pierre.



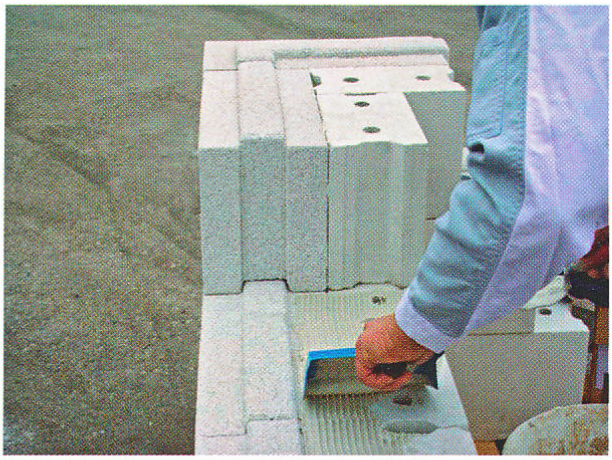
⑩ Vérifiez le niveau du premier rang, et corrigez si nécessaire.

⑬ Poursuivez la pose du deuxième rang selon le même principe.

⑪ Égalisez la surface avec la taloche grattoir, puis époussetez.

⑭ Utilisez une scie à ruban pour découper parfaitement les blocs.

Figure 290 : La mise en œuvre de blocs de béton cellulaire (suite et fin)



© Greisel

1 Appliquez du mortier-colle à la truelle crantée.

2 Positionnez un bloc dans la colle.

Figure 291 : La mise en œuvre de blocs de béton cellulaire/silico-calcaire

© Bundesverband x 3

1 Dépoussiérez les surfaces.
2 Protégez les arêtes.
3 Appliquez l'enduit.

Figure 292 :
L'application d'un enduit extérieur sur béton cellulaire

des blocs, une scie à ruban spécifique est très utile (voir photo).
En ce qui concerne les blocs de béton cellulaire et silico-calcaire thermique, le procédé de mise en œuvre est analogue. Appliquez le mortier-colle au moyen d'une truelle crantée. Positionnez et réglez les blocs à l'avancement (figure 291).

Pour la finition extérieure, appliquez un enduit adapté à ce type de support. Le dépoussiérage est indispensable avant l'application de l'enduit (figure 292). Protégez les angles de la construction avec des cornières métalliques marouflées dans l'enduit. Appliquez ensuite l'enduit à la taloche.

La mise en œuvre des monomurs en terre cuite

© Wienerberger

La mise en œuvre des monomurs en terre cuite s'effectue selon la technique de la maçonnerie roulée et les recommandations de l'Avis Technique correspondant au produit du fabricant, ainsi que des dispositions du DTU 20-1. La gamme de blocs spéciaux est vaste (figure 293) comme pour le béton cellulaire, à la différence près qu'il n'existe pas d'éléments porteurs en terre cuite de grande portée tels que les linteaux, dalles de sol ou dalles de toiture. En revanche, le choix est plus grand en matière de menuiseries : pièces d'allège, appuis, briques de feuillure, de demi feuillure, d'ébrasement... car ceux-ci seraient difficiles à découper avec précision sur le chantier.

Pour les murs porteurs, utilisez des blocs d'une épaisseur minimale de 20 cm. Comme indiqué, pour de bonnes performances thermiques il faut des blocs de 36,5 cm d'épaisseur au minimum, voire 50 cm. Dans ce cas, un isolant rapporté devient inutile.
Utilisez le mortier-colle préconisé par le fabricant. Il s'applique en faible épaisseur, environ 1 à 2 mm, au moyen d'un rouleau applicateur d'une largeur égale à celle du mur. Les joints verticaux à emboîtement sont prévus pour être assemblés à sec.

Outre l'outillage de maçonnerie traditionnelle (règle, niveau, maillet en caoutchouc...), vous aurez besoin d'un malaxeur à monter sur une perceuse pour préparer le mortier-colle, d'un rouleau applicateur et de platines de pose métalliques pour régler l'arase de départ en mortier traditionnel. Pour la découpe des blocs, utilisez une scie alligator.
Ce type de maçonnerie convient pour la plupart des planchers bas ou sur terre-plein. Le soubassement est réalisable de différentes façons : en briques monomur, en briques, en parpaings à bancher ou en béton.

Si le mur de soubassement est composé de petits éléments de maçonnerie, vous devez opérer une coupure de capillarité avec la maçonnerie d'élévation, qui doit débuter à plus de 15 cm du sol extérieur.

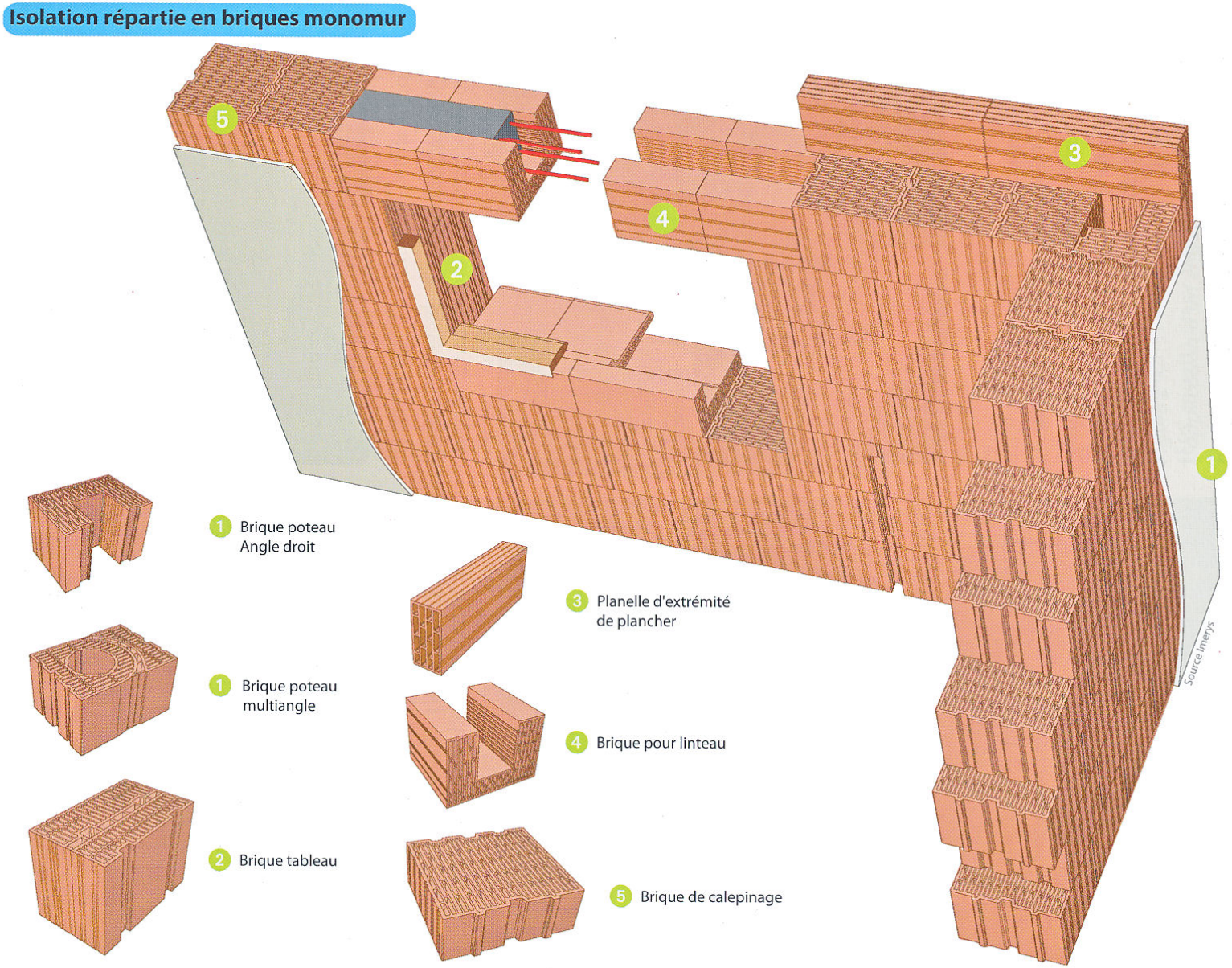


Figure 293 : L'isolation répartie en monomurs de terre cuite

Avec un soubassement en monomurs, édifiez les éléments de terre cuite à partir de la semelle des fondations. Réalisez un solin pour créer une pente pour l'étanchéité et prévoyez le cas échéant un drainage autour de l'habitation. Sur la face supérieure du soubassement pourvu d'une coupure de capillarité, réalisez le plancher bas. Cette coupure peut être une bande de feutre bitumé ou une feuille de polyéthylène placée en sandwich entre deux couches de mortier.

Pour le plancher, vous pouvez opter pour une dalle en béton ou un plancher avec hourdis. En nez de dalle, placez un isolant thermique et des briques d'about. Celles-ci existent en différentes hauteurs adaptées à l'épaisseur des planchers courants. Dans les angles, posez, debout des briques linteau sciées à la bonne hauteur. En about de dalle, il est possible de placer jusqu'à 4 cm d'isolant si les briques ont au moins 30 cm de largeur et jusqu'à 10 cm pour les éléments de 50 cm de largeur. C'est une excellente solution pour limiter les ponts thermiques linéaires au niveau du plancher (figure 294).

La mise en œuvre du soubassement est analogue pour un plancher sur terre-plein (figure 295). Si le sol le permet, préférez une dalle sur terre-plein désolidarisée grâce à une bande d'isolant périphérique.

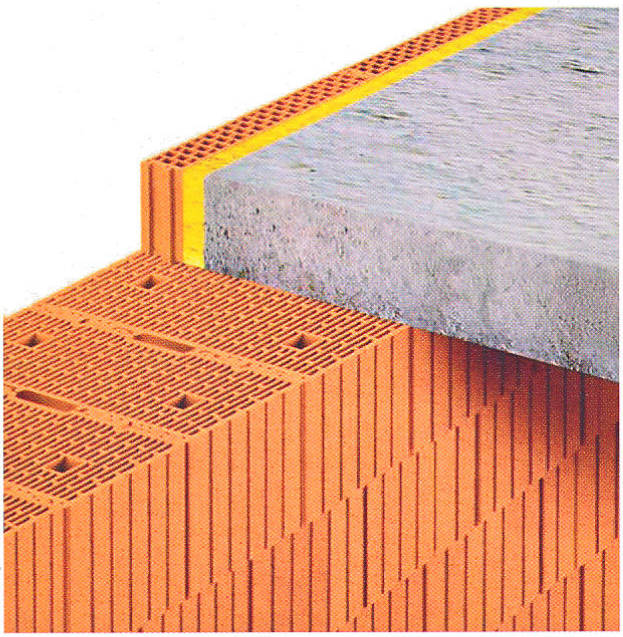
Le mur d'élévation ne doit pas présenter de débord extérieur de plus de 2,5 cm par rapport aux soubassements.

En tête de mur et selon la destination des combles, comblez la face supérieure des monomurs avec du mortier afin de préserver l'étanchéité des alvéoles.

Si les éléments de charpente sont destinés à prendre appui sur la maçonnerie, réalisez un chaînage horizontal.

Au niveau des pignons, réalisez la découpe des briques selon la pente du rampant. Coffrez et obturez-les au mortier pour obtenir également la pente définitive.

Les murs de refend peuvent être en briques ou en d'autres matériaux. Pour la



© Wienerberger

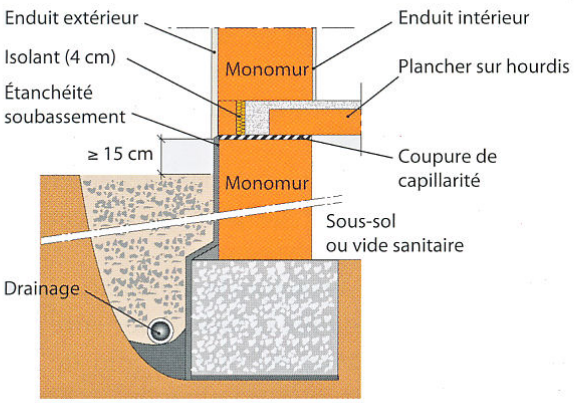
Figure 294 : Exemple de dalle sur monomurs de 50 cm

Détails constructifs d'une isolation répartie en briques monomur 1/2

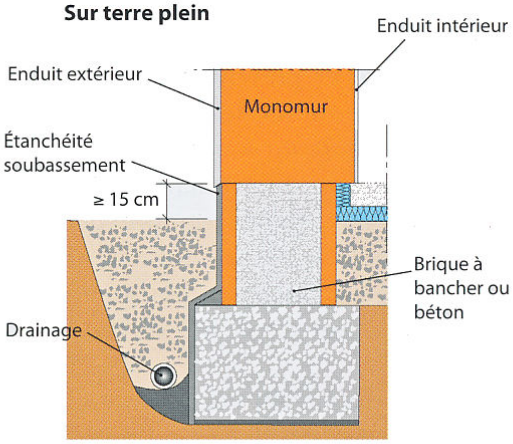
Source Wienerberger

Soubassements

Sur vide sanitaire ou sous-sol

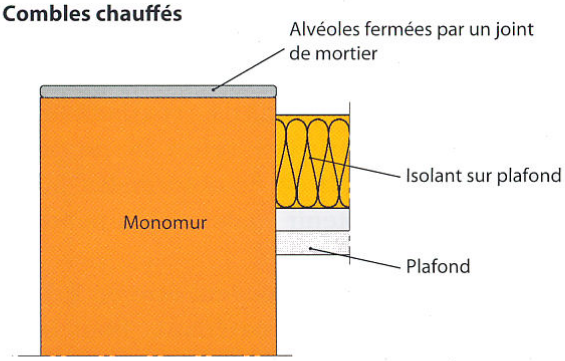


Sur terre plein

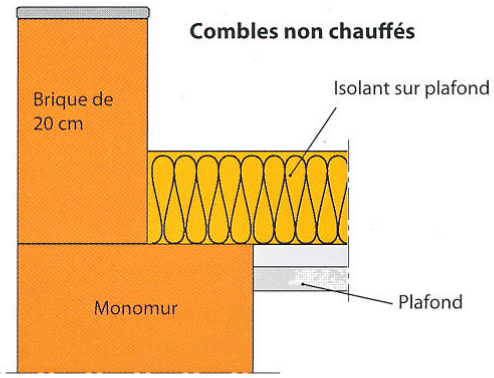


Tête de mur

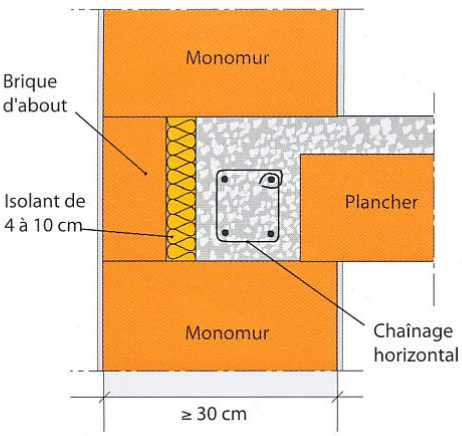
Combles chauffés



Combles non chauffés

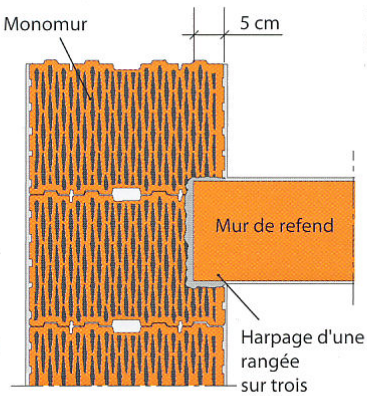


Plancher intermédiaire



Mur de refend

(vue de dessus en coupe)



Poteau d'angle

(vue de dessus en coupe)

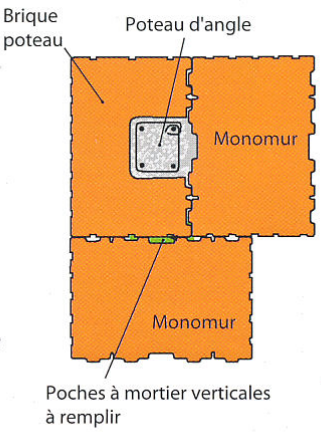


Figure 295 : Les détails constructifs d'une isolation répartie en briques monomur (1/2)

liaison avec le mur extérieur, procédez par harpage ou avec un engravement de 5 cm. La liaison mécanique sans harpage est également possible. Vous devez alors réaliser un chaînage vertical dans le mur extérieur, à proximité de l'about du refend, ainsi que dans le refend à proximité de la liaison. Pour réaliser les chaînages verticaux, utilisez des éléments poteaux.

Pour les ouvertures, réalisez les linteaux de chaînage avec des éléments prévus à cet effet. Avec des monomurs de 50 cm de largeur, utilisez des blocs de linteau de 30 cm, du côté extérieur et des blocs de 20 cm du côté intérieur, puis coulez deux chaînages parallèles. Les linteaux doivent reposer sur 20 cm de maçonnerie au moins, de part et d'autre de l'ouverture (figure 296). Utilisez des éléments spécifiques pour les tableaux. Selon les fabricants, ces éléments sont pourvus de cloisons d'empilage à découper qui permettent une parfaite adaptation au dormant de la menuiserie. Redécoupez éventuellement la feuillure du linteau, à la hachette, en fonction de la position de la menuiserie dans l'ouverture, soit au nu intérieur soit en ébrasement. En allège, après découpe éventuelle du dernier rang de briques ou en utilisant des éléments de demi hauteur, installez l'appui et renforcez l'isolation. Elle peut consister en une simple brique plâtrière pour des monomurs de 30 cm, ou en des éléments recoupés avec un isolant supplémentaire si les monomurs sont plus larges. Installez la menuiserie dans l'embrasure en assurant l'étanchéité à l'air et à l'eau.
Pour les coffres de volet roulant, posez-les soit dans des éléments spécifiques, soit au nu extérieur du mur en renforçant l'isolation au niveau du coffre. Vous pouvez aussi les poser en embrasure derrière un linteau de chaînage supplémentaire (prélinteau). Dans ce cas, le coffre doit disposer de sa propre isolation thermique.
En pose traditionnelle, vous ne devez pas remplir de mortier le joint vertical à emboîtement mâle-femelle. Cependant, s'il n'y a pas d'emboîtement disponible pour le joint vertical, par exemple dans les angles ou en cas d'éléments sciés, remplissez la gorge centrale avec un mortier bâtard traditionnel ou bien enduisez le joint vertical de mortier-colle.
Si une portion de brique découpée est nécessaire pour atteindre la longueur totale, intégrez-la en milieu de rangée et non pas dans un angle ou près d'une ouverture.

Cependant, en zone sismique, il est nécessaire de respecter certaines dispositions pour renforcer les structures (figure 297). Ainsi, outre les chaînages verticaux d'angle et de contreventement, il faut renforcer les ouvertures accueillant les menuiseries. À l'instar du béton cellulaire, vous devez réaliser un chaînage horizontal, en allège, sous l'appui et un chaînage vertical dans chaque jambage de la fenêtre, repris dans le linteau ou le chaînage horizontal du plancher haut. Naturellement, ces dispositions doivent faire l'objet d'une étude préalable.

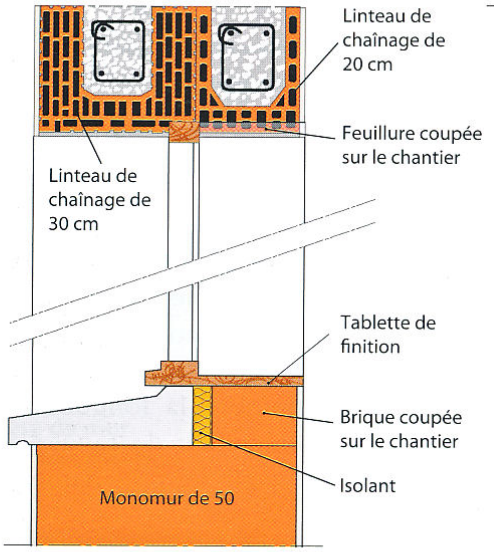
Avant de débuter le montage des parois, déterminez le point le plus haut de la dalle de départ. Pour l'assise des éléments, réalisez un lit de mortier traditionnel, hydrofugé, si nécessaire. Au point le plus haut, installez des platines de réglage afin de délimiter l'épaisseur de la couche de mortier, qui doit avoir une épaisseur minimale de 2 cm et contrôlez le niveau. Étalez le mortier au moyen de

Détails constructifs d'une isolation répartie en briques monomur 2/2

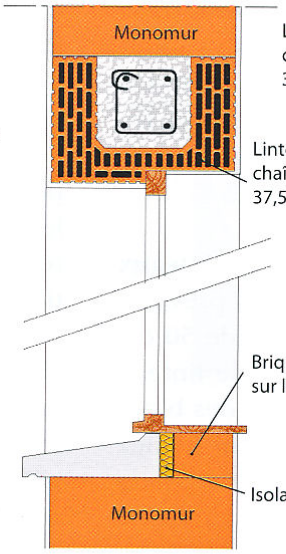
Source Wienerberger

Liaison avec les menuiseries

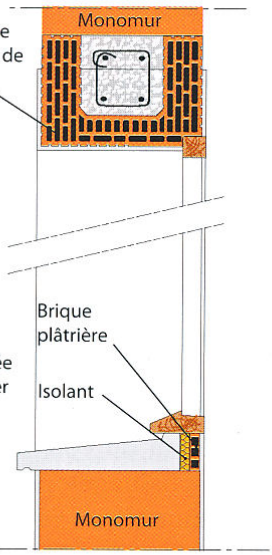
Avec monomur de 50



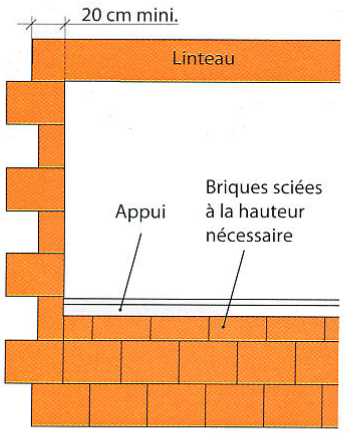
Avec monomur de 37,5



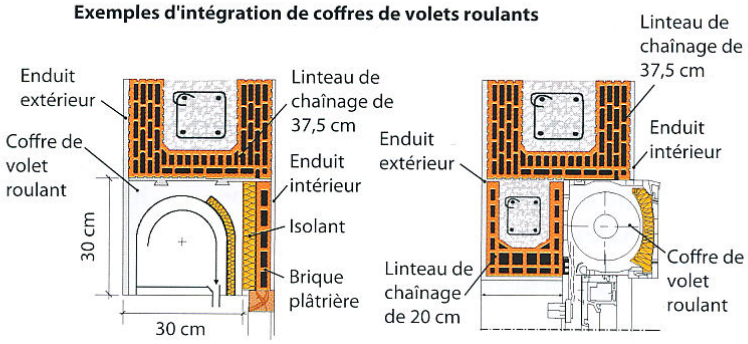
Avec monomur de 30
(fenêtre au nu intérieur)



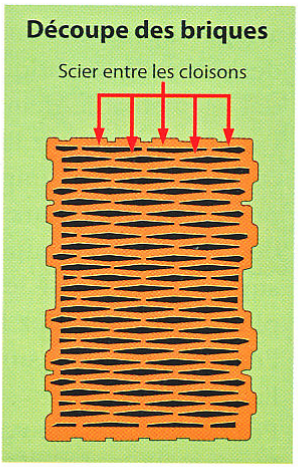
Vue de face



Exemples d'intégration de coffres de volets roulants



Découpe des briques



Remplissage des poches verticales

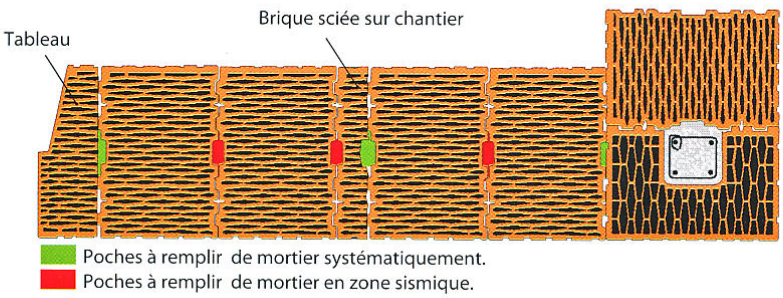


Figure 296 : Les détails constructifs d'une isolation répartie en briques monomur (2/2)

Isolation répartie briques monomurs en zone sismique

Source Wienerberger

Exemple de réalisation avec monomur de 50

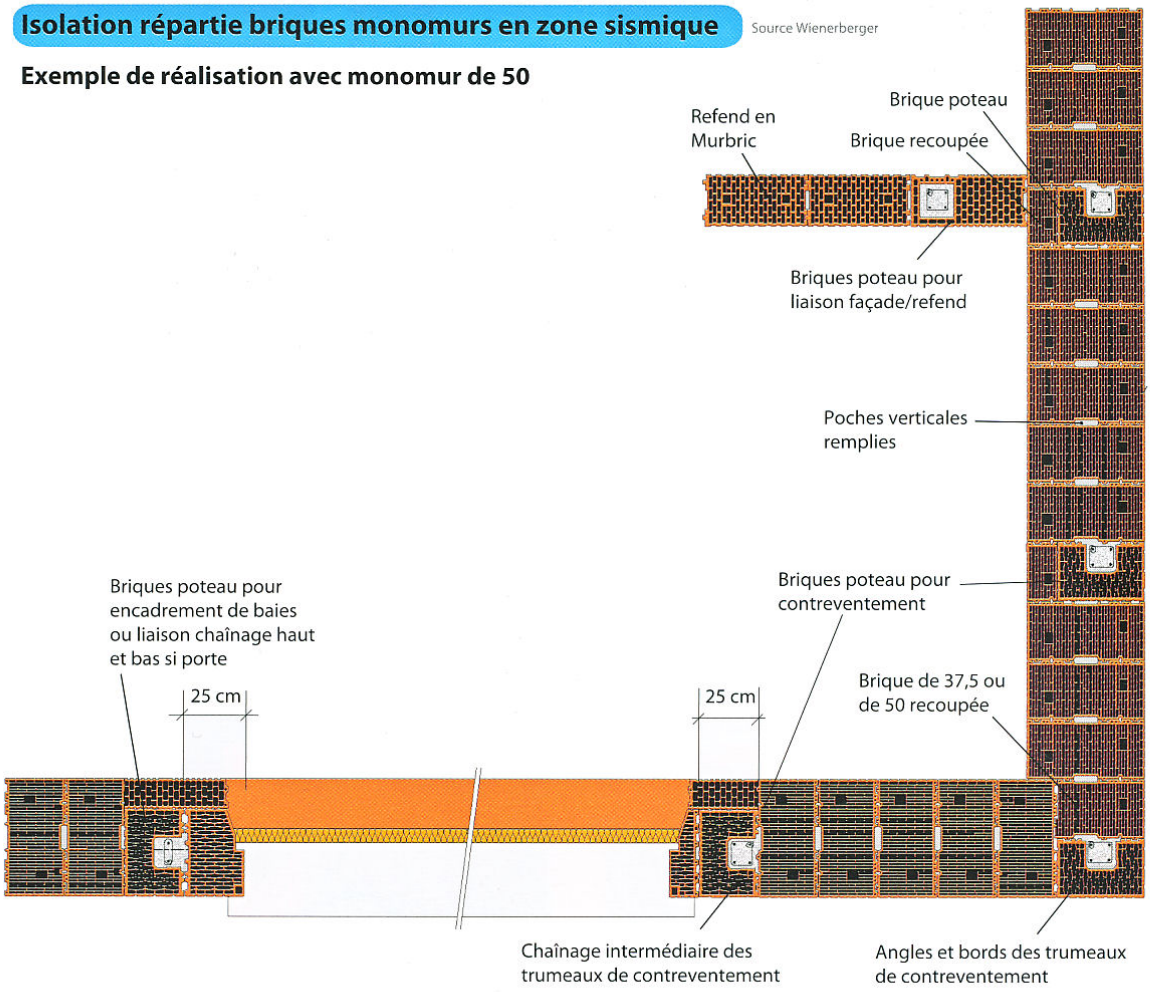


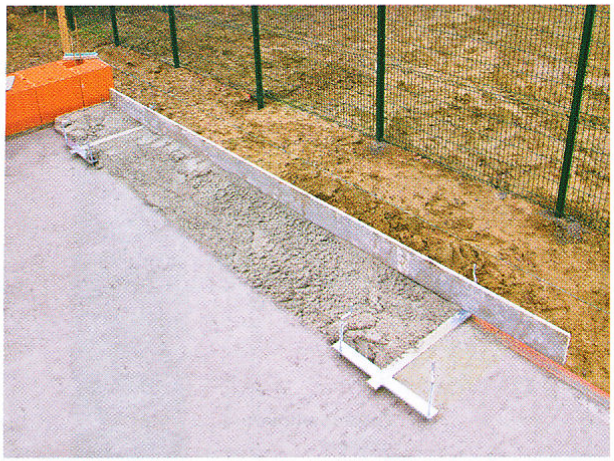
Figure 297 : Les briques monomur en zone sismique

© Wienerberger

Figure 298 : Le réglage du lit de mortier

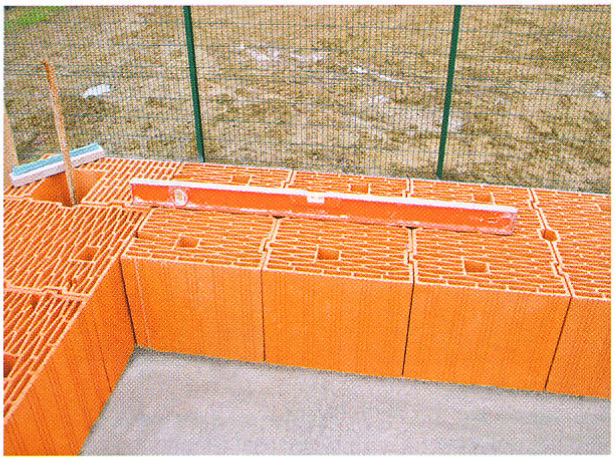
la règle, en prenant appui sur les platines (figure 298). Le départ s'effectue toujours dans un angle.

Mettez en place le premier rang de briques directement sur l'arase fraîche. Vérifiez le niveau et l'alignement entre les éléments à l'avancement et corrigez-les si nécessaire avec un maillet en caoutchouc, puis laissez sécher. Pour le deuxième rang, préparez le mortier-colle sous forme de poudre à mélanger avec de l'eau, selon les indications du fabricant. Pour cela, utilisez un malaxeur (figure 299). Au moyen du rouleau appli-

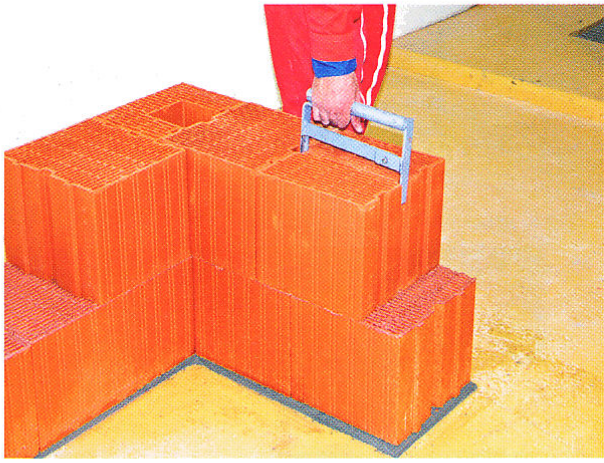


1 Réalisez une arase de niveau au mortier classique.

4 Déposez une couche de mortier-colle au moyen du rouleau applicateur.



2 Posez et réglez le premier rang d'éléments.



5 Posez le deuxième rang de briques en décalant les joints.

© Imerys x 6

3 Mélangez du mortier-colle pour joint mince.

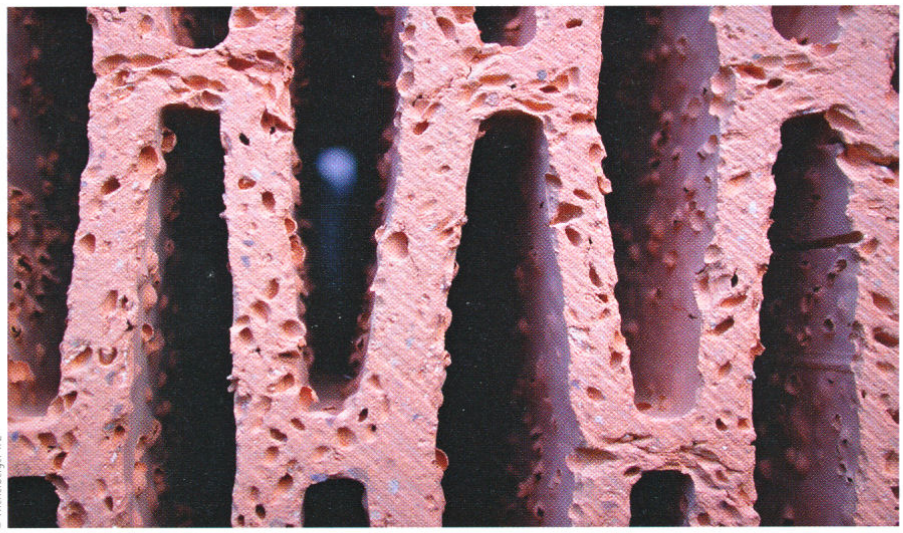
6 Continuez selon la même méthode pour les rangs successifs.

Figure 299 : La mise en œuvre des monomurs en terre cuite

cateur, étalez une fine couche, de 3 mm environ de mortier-colle sur la face supérieure du premier rang de briques. Veillez à décaler les joints par rapport au premier rang. Posez les briques fermement, en les faisant glisser dans l'emboîtement de la brique précédente. Il existe des systèmes de suspension pour faciliter la manipulation des briques. S'il est nécessaire d'encoller le joint vertical, placez la brique en appui contre la précédente. Réglez le collage en tapant avec le maillet en caoutchouc. Si malgré tout le soin apporté à la réalisation, il persiste des interstices entre les éléments, comblez-les avec du mortier-colle dans lequel vous aurez ajouté 50 % de sable.
Évitez de préparer de grandes quantités de mortier à l'avance. S'il épaissit un peu, malaxez-le à nouveau, mais sans rajouter d'eau.

Pour découper des éléments, utilisez une scie alligator (figure 300).
La pose des éléments à hautes performances thermiques s'effectue de la même manière que les monomurs classiques (figure 301).

Figure 300 :
Le sciage d'une brique monomur



© Wienerberger x 2

© Wienerberger

Figure 301 : La pose d'une brique monomur à isolation renforcée

Les blocs de coffrage isolants

© Euromac

Les blocs de coffrage isolants ne sont pas des systèmes constructifs traditionnels, c'est pourquoi leur mise en œuvre doit faire l'objet d'un Avis Technique spécifique.

La mise en œuvre s'effectue par emboîtement à sec sans collage. Les blocs sont ensuite remplis d'un béton de granulats courant. Au préalable, sur la dalle de plancher bas, il faut naturellement sortir les aciers repris dans le chaînage et les intégrer dans les blocs de coffrage.
Le montage des angles s'effectue par harpage des blocs (figure 302).

Pour les deux premiers rangs, la pose s'effectue de niveau, sur un support nivelé en alignement parfait, avec un débordement de 15 mm du plancher support pour former un larmier.
Il faut utiliser des étais spéciaux fixés sur la dalle et aux éléments de coffrage de manière à les immobiliser en position verticale. On utilise des clavettes en bois, à l'intérieur des blocs isolants dans lesquelles on visse les fixations avec les étais. Les clavettes sont en forme de queue d'aronde, ce qui permet de les glisser dans les rainures internes des blocs.
Les premières doivent être placées à 240 mm du sol, les autres au pas de 600 mm environ. On en place également pour maintenir le dernier rang sous plancher.

Il faut couler ensuite une première épaisseur de 30 cm de béton hydrofuge. Naturellement, il faut veillez à ce que l'hydrofuge soit compatible avec le polystyrène. Ensuite, on continue la pose des éléments toujours à joints décalés, sur une hauteur d'étage. Les clavettes sont installées pour maintenir les éléments de planelle et permettre le coulage de la dalle. Elles seront maintenues lors du banchage.

Pour les linteaux, on place un module de fond de linteau sous des blocs normaux. Dans l'attente du coulage du béton, on installe une armature de linteau. Les éléments sont maintenus par des étais.

Détails constructifs des blocs de coffrage isolants (1/3)

D'après Euromac 2

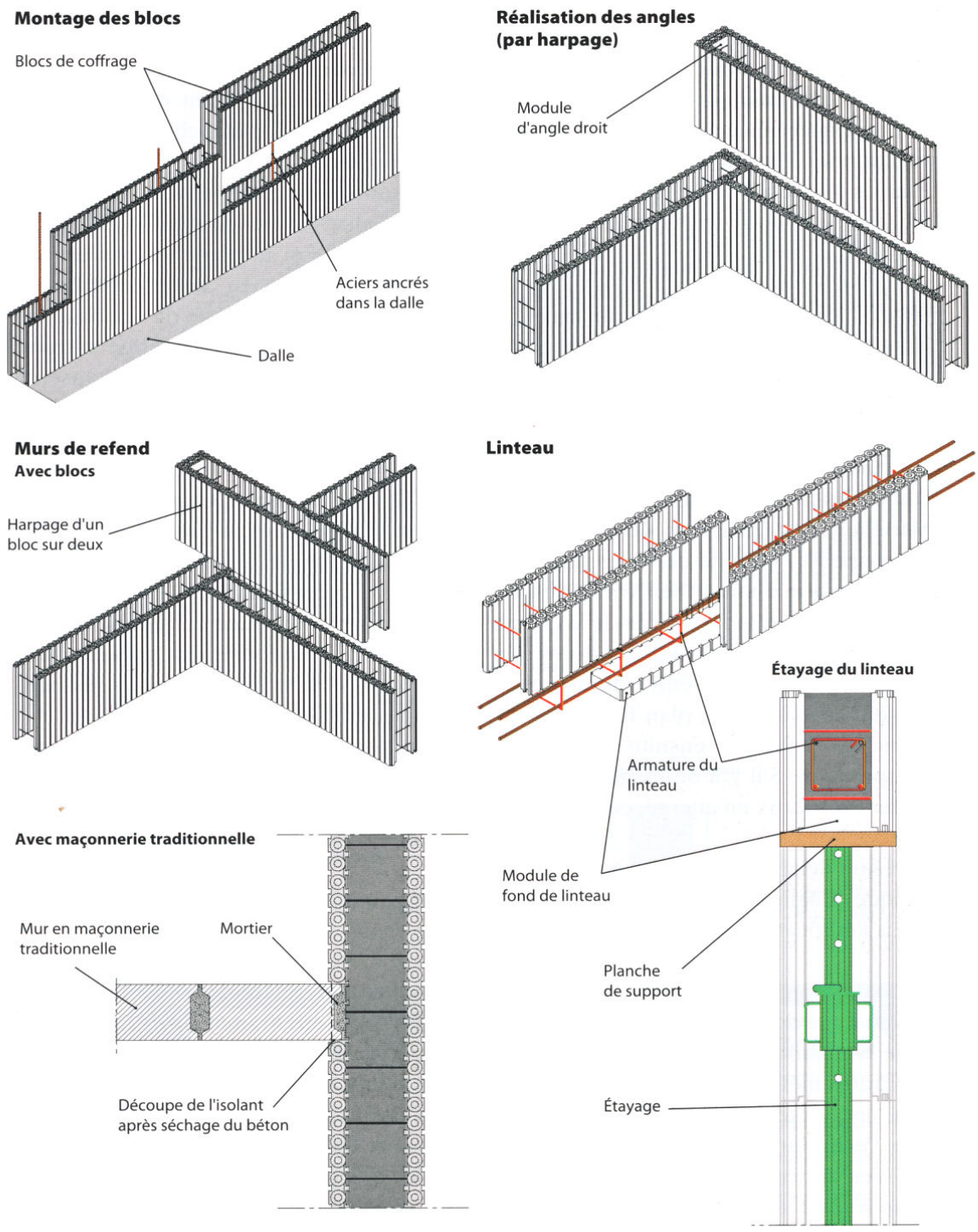


Figure 302 : Les détails constructifs des blocs de coffrage isolants (1/3)

Les murs de refend sont montés en maçonnerie traditionnelle. Reprenez-les directement en appui sur le béton intérieur de la paroi. Pour ce faire, découpez l'isolant, côté intérieur selon la largeur du refend, puis réalisez la liaison au mortier traditionnel. Vous pouvez également réaliser les refends sur le même principe, en montant les blocs en harpage, un rang sur deux.

Les fabricants de blocs de coffrage isolants proposent également des éléments de plancher, sous forme d'éléments en polystyrène renforcés par une armature métallique (figure 303).
Lorsque les murs du premier niveau sont coulés, on met en place les éléments, de plancher, les armatures de poutrelles, les chapeaux (fers de clavetage entre le chaînage horizontal et les armatures de poutrelles), puis le ferraillage de la chape de compression sur des modules de support. Il convient d'étayer le plancher en sous-face selon le plan fourni par le fabricant. On coule ensuite la dalle de compression. S'il y a un étage, on laisse les fers verticaux en attente, comme pour le plancher bas.
Après un délai d'au moins trois semaines, lorsque la dalle est sèche, on peut procéder à l'édification de l'étage supérieur.

Les baies sont positionnées au moment du montage des blocs isolants. Il est possible d'installer les menuiseries sur des précadres métalliques, en bois, en béton ou en polyester armé, faisant l'objet d'un Avis Technique. Elles peuvent aussi être scellées après le banchage directement dans le mur en béton. Découpez alors les feuillures dans le polystyrène à la dimension du dormant. Réalisez les encoches pour les pattes de scellement tous les 0,50 m, puis installez le châssis et scellez-le. Calfeutrez les fonds de joint avec de la mousse de polyuréthane expansive. En ce qui concerne les appuis maçonnés, avant de les sceller, posez une bande d'étanchéité sur l'allège (figure 304).
Les soubassements peuvent également être réalisés avec ce type d'éléments, par exemple si le plancher bas est sur un vide sanitaire. La partie enterrée est protégée par une plaque de drainage. Le mur de soubassement est érigé sur une membrane d'étanchéité. Il est conseillé de réaliser un drainage tout autour de l'habitation.

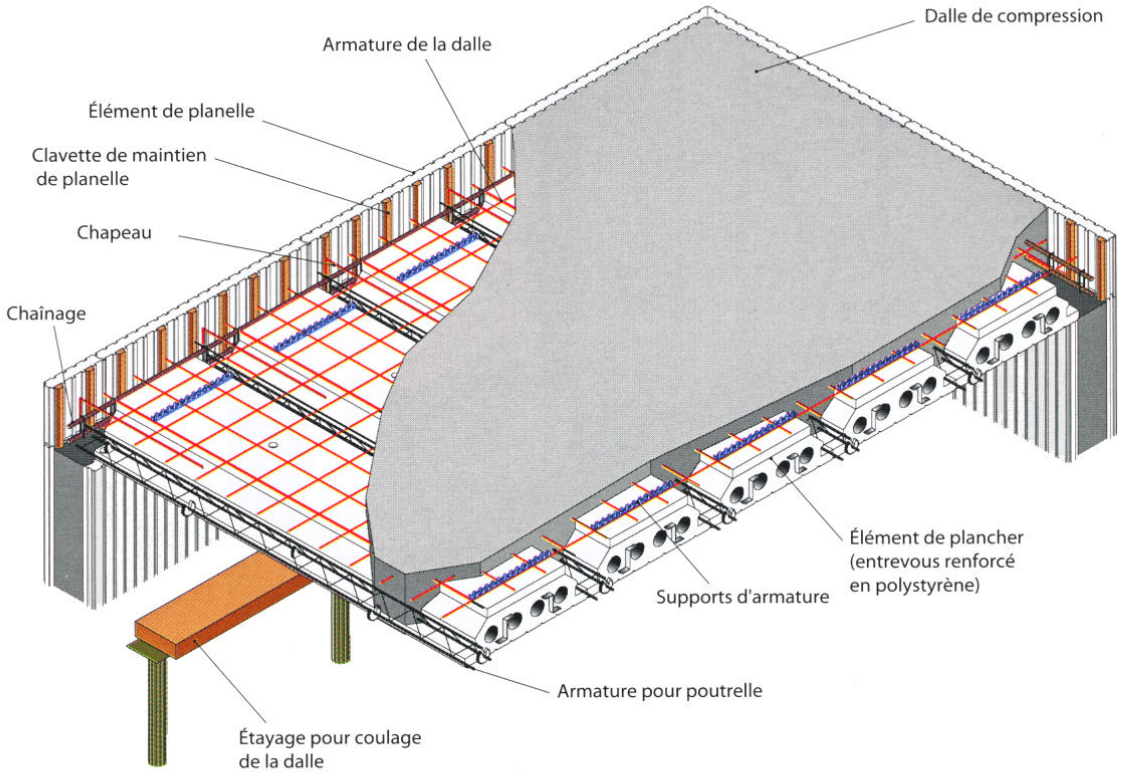
En ce qui concerne les réseaux électriques, vous pouvez installer les canalisations à l'intérieur du banchage en béton en les maintenant avec des cavaliers contre la paroi interne des blocs. Utilisez des boîtes d'encastrement spécialement prévues pour le montage dans les banchages en béton.
Vous pouvez aussi passer les gaines du côté intérieur des blocs, dans les rainures en queue d'aronde. Vous reboucherez les alvéoles avec de l'enduit.

La figure 305 illustre la technique de pose des étais. Installez-les tous les 1,20 m environ. Placez des barres latérales dans la partie supérieure des ouvertures pour permettre leur franchissement tout en apportant des points de fixation supplémentaires.
Les étais doivent également être ancrés dans la dalle. Pour le remplissage des murs, on utilise un béton avec des granulats de 0-16 mm et ayant une consistance plastique. Il est dosé à 350 kg/m^3 environ. Le remplissage se fait à la pompe à béton. Attention, l'utilisation d'un béton

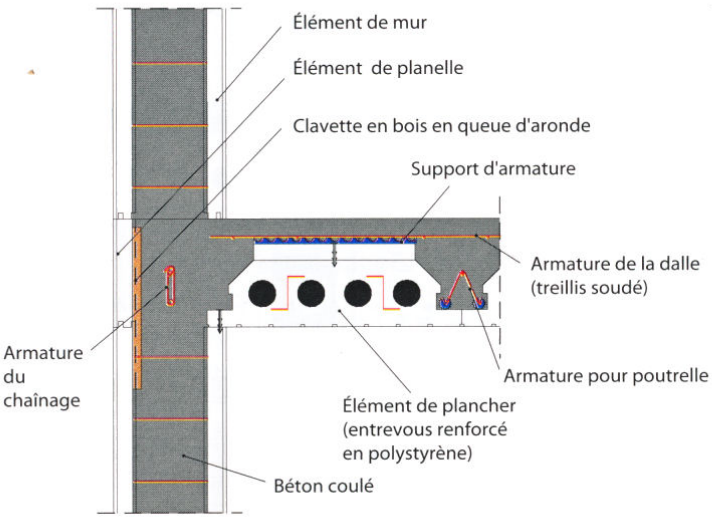
Détails constructifs des blocs de coffrage isolants 2/3

D'après Euromac 2

Réalisation des dalles



Vues en coupe - Plancher courant



Plancher avec linteau

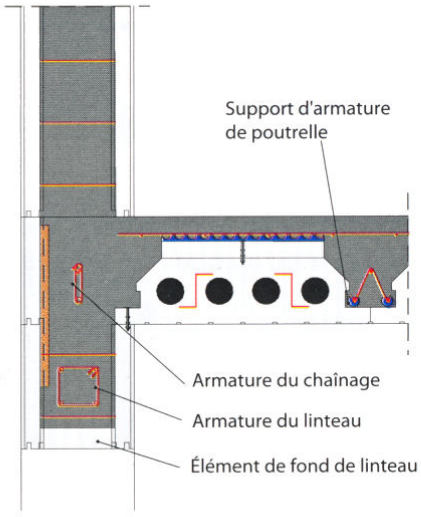


Figure 303 : Les détails constructifs des blocs de coffrage isolants (2/3)

Détails constructifs des blocs de coffrage isolants 3/3

D'après Euromac 2

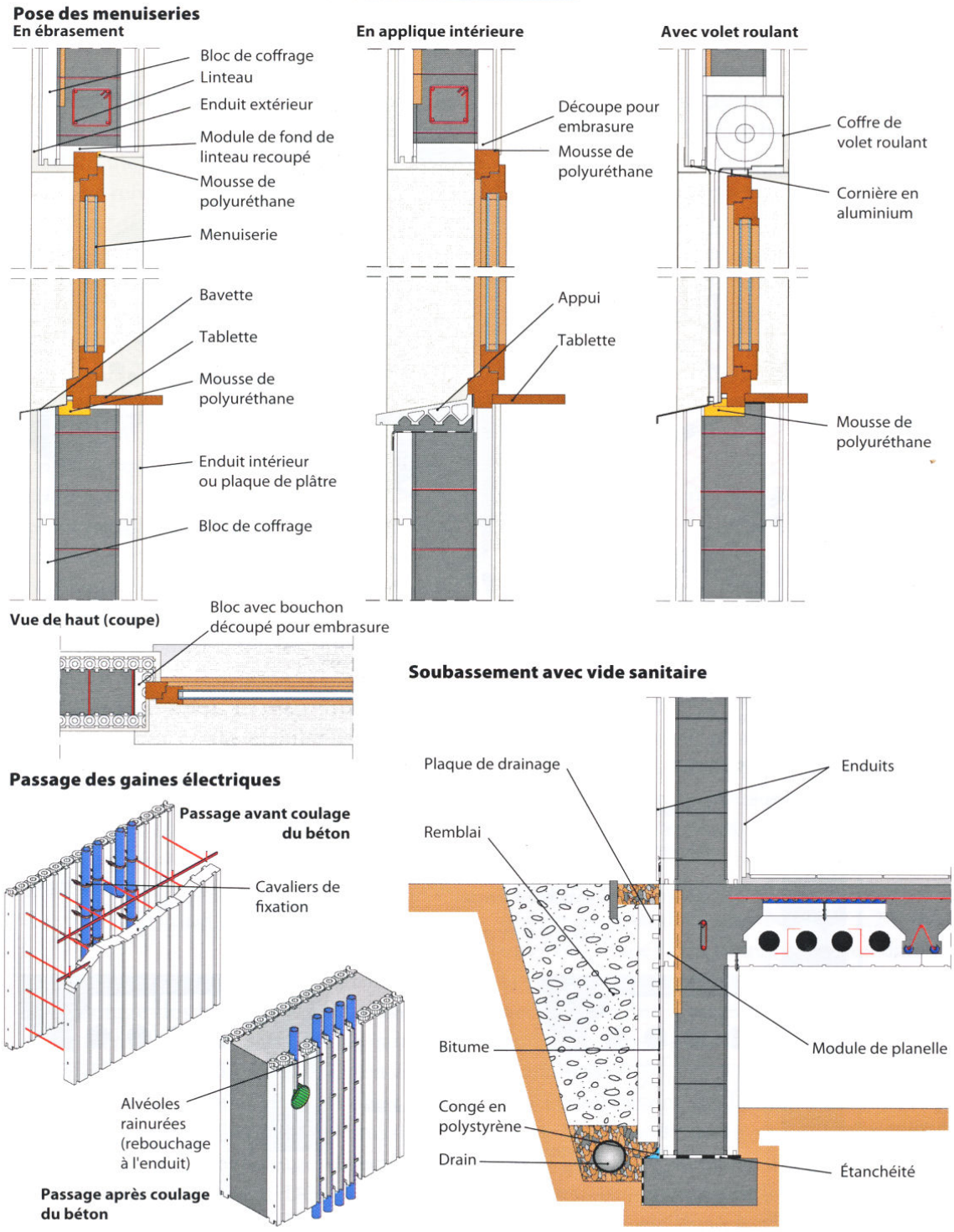


Figure 304 : Les détails constructifs des blocs de coffrage isolants (3/3)

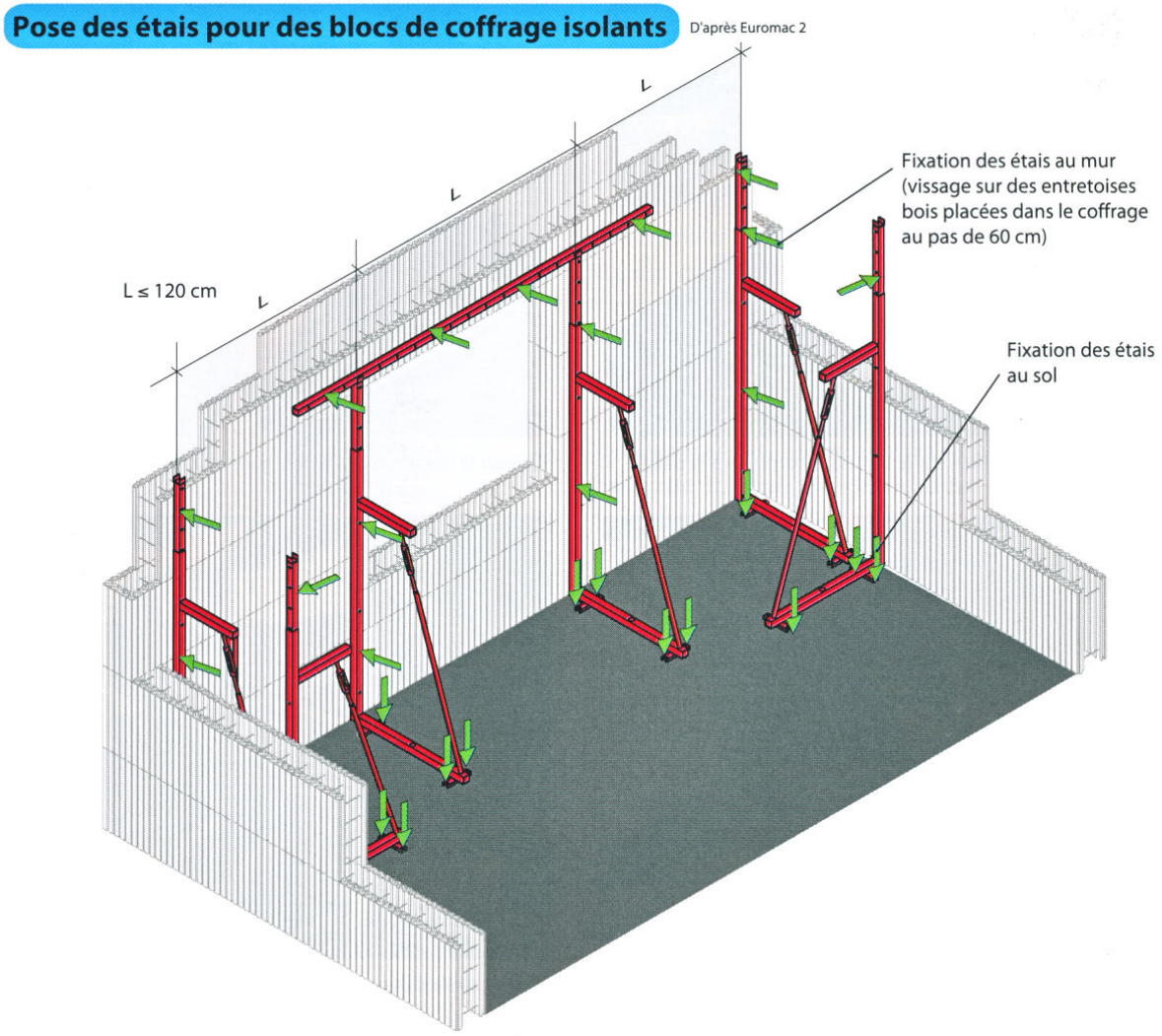


Figure 305 : La pose des étais pour les blocs de coffrage isolants

trop liquide pourrait provoquer l'éclatement d'un bloc de coffrage. Pendant le coulage, il faut diriger le jet de la pompe sur les entretoises des blocs afin de casser le jet. Après séchage du béton, vous pouvez retirer les étais.

Pour une meilleure résistance aux UV des blocs et pour faciliter l'application d'un enduit, la face extérieure des blocs peut avoir reçu en usine un surfaçage composé de ciment, de sable et de résine. Vérifiez que l'enduit de finition est adapté à ce type de support.

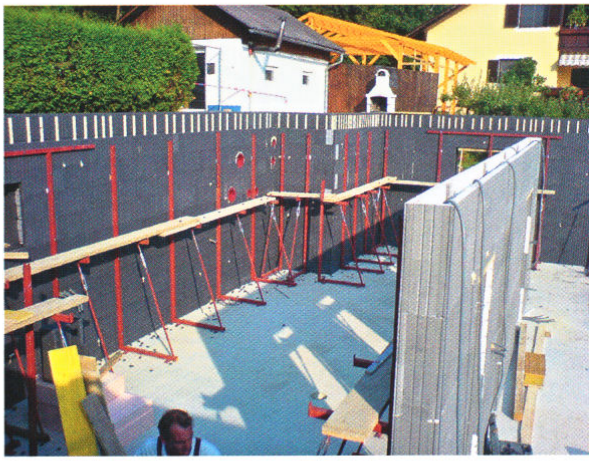
Avant l'application de l'enduit, scellez des cornières de protection dans les angles.

La figure 306 présente un exemple de mise en œuvre *in situ*. Des blocs de grande largeur ont été utilisés pour répondre aux critères de la maison passive.

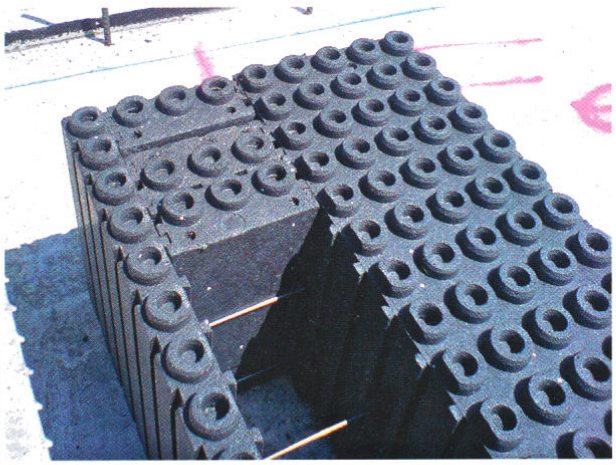
1 Mettez les blocs en place sur les aciers incorporés à la dalle.

4 Pour la découpe des blocs, utilisez une scie sabre.

2 Emboîtez les blocs au moyen d'un martyr en contreplaqué et d'un maillet en caoutchouc.



5 Les parois d'étage doivent être correctement étayées.



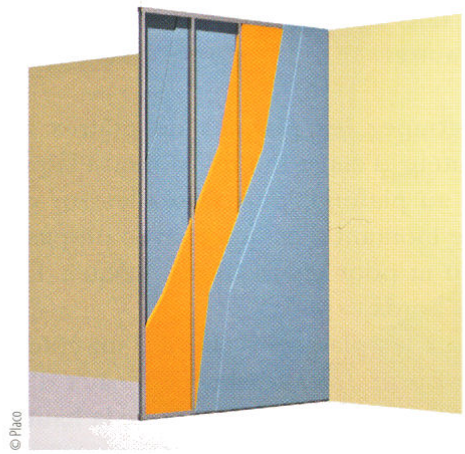
© Loibner Manfred x 6

3 Utilisez des modules pour la fermeture des blocs.

6 Pour le coulage du béton, employez une pompe.

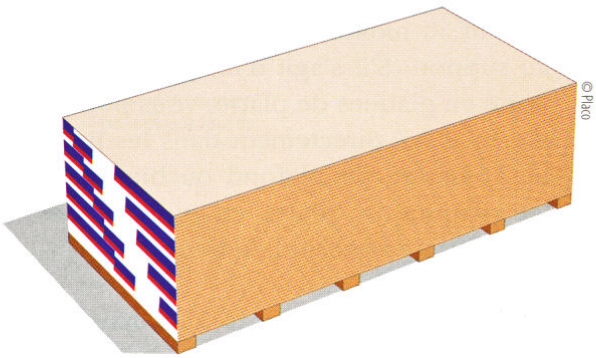
Figure 306 : Exemple de mise en œuvre de blocs de coffrage isolants

Les cloisons



Pour réaliser des cloisons de distribution isolées phoniquement, on a généralement recours à une ossature métallique remplie d'isolant sur laquelle sont fixées des plaques de plâtre standard ou spéciales. Ces cloisons sont autostables, mais non porteuses. Leur hauteur correspond obligatoirement à toute la hauteur d'étage, du sol au plafond. Les cloisons dont les parements sont composés d'une seule plaque de plâtre ne sont admis que dans les logements ou dans les locaux où il n'y a pas de risques de chocs importants.

L'ossature se compose de rails horizontaux et de montants verticaux. La largeur des ossatures peut être de 36, 48, 62, 70 ou 90 mm, en fonction des performances acoustiques ou mécaniques recherchées. Les cloisons de 72/48 sont les plus courantes (72 = épaisseur finie en millimètres, 48 représente la largeur de l'ossature en millimètres). Ce type de cloison est valable pour une hauteur sous plafond de 2,60 m avec des montants placés au pas de 0,60 m. La hauteur peut atteindre 2,80 m si les montants sont au pas de 0,40 m. En doublant les montants dos-à-dos, vous pouvez atteindre la hauteur de 3,00 m, au pas de 0,60 m et même 3,30 m avec un pas de 0,40 m. Vous pouvez doubler l'épaisseur de parement de chaque côté, par exemple deux plaques de plâtre BA 13. La rigidité de l'ensemble s'en trouve améliorée et vous pouvez alors atteindre des hauteurs de cloison maximales, respectivement de 3,00 et 3,30 m avec des montants simples au pas de 0,40 ou 0,60 m. En doublant les montants, la hauteur maximale avec un pas de 0,40 m est de 4,00 m.
Les plaques destinées à la réalisation des cloisons doivent être stockées à plat sur sol plan à l'abri des intempéries, en intercalant des cales tous les 0,50 m.



Pour commencer, tracez l'implantation de la cloison au sol (figure 307), au moyen d'un cordeau traceur. Reportez le tracé au plafond au moyen d'un fil à plomb, puis effectuez le traçage au mur. Pour vous faciliter la tâche, procurez-vous le cas échéant un niveau laser.

Si la pose intervient sur un sol fini ou destiné à recevoir un revêtement de sol peu épais comme une moquette, un linoléum ou un sol plastique, fixez les rails inférieurs mécaniquement directement dans le sol. Placez des fixations tous

les 0,60 m. Il peut s'agir de vis et de chevilles, de pistoscellement, de chevilles à frapper... selon la nature du support.
Pour réaliser des jonctions en L ou en T, coupez les rails en réservant un espace pour le placement des plaques de plâtre.
Dans les locaux humides, intercalez un joint souple et étanche entre le sol et le rail.
En cas de pose sur sol brut, placez un film d'étanchéité entre le rail et le sol. Il peut s'agir d'un feutre bitumé de type 27 S ou d'une feuille de polyéthylène d'une épaisseur minimale de 100 microns. Faites remonter le film de part et d'autre de la cloison finie sur une hauteur dépassant de 2 cm celle du sol fini.
Fixez les rails supérieurs mécaniquement dans le plafond, toujours avec un pas de 0,60 m au moyen de fixations adaptées au support. S'il s'agit d'un plafond rapporté en plaques de plâtre, vous pouvez visser le rail directement dans les lisses de l'ossature du plafond ou bien dans les plaques de plâtre en utilisant des chevilles à expansion adaptées.

Découpez les montants à la hauteur d'étage moins 10 mm. Introduisez-les en biais entre les deux rails, redressez et faites-les tourner d'un quart de tour pour les emboîter. Laissez le jeu de 10 mm en haut. Fixez le montant de départ mécaniquement au mur porteur. Placez les montants suivants avec l'écart nécessaire de 0,40 ou 0,60 m. Si vous utilisez des montants doublés (dos à dos), solidarisez-les entre eux avec des vis TRPF 13, tous les 0,40 m.
Pour réutiliser les chutes de montants simples, vous pouvez les rabouter. Découpez un morceau de 30 cm de montant et emboîtez-le au dos du montant, au niveau du raccord. Pour solidariser les pièces, placez des vis dans les ailes des montants. Un aboutage s'effectue avec huit vis, soit quatre par montant. Décalez les rails aboutés d'une ligne d'ossature à l'autre.

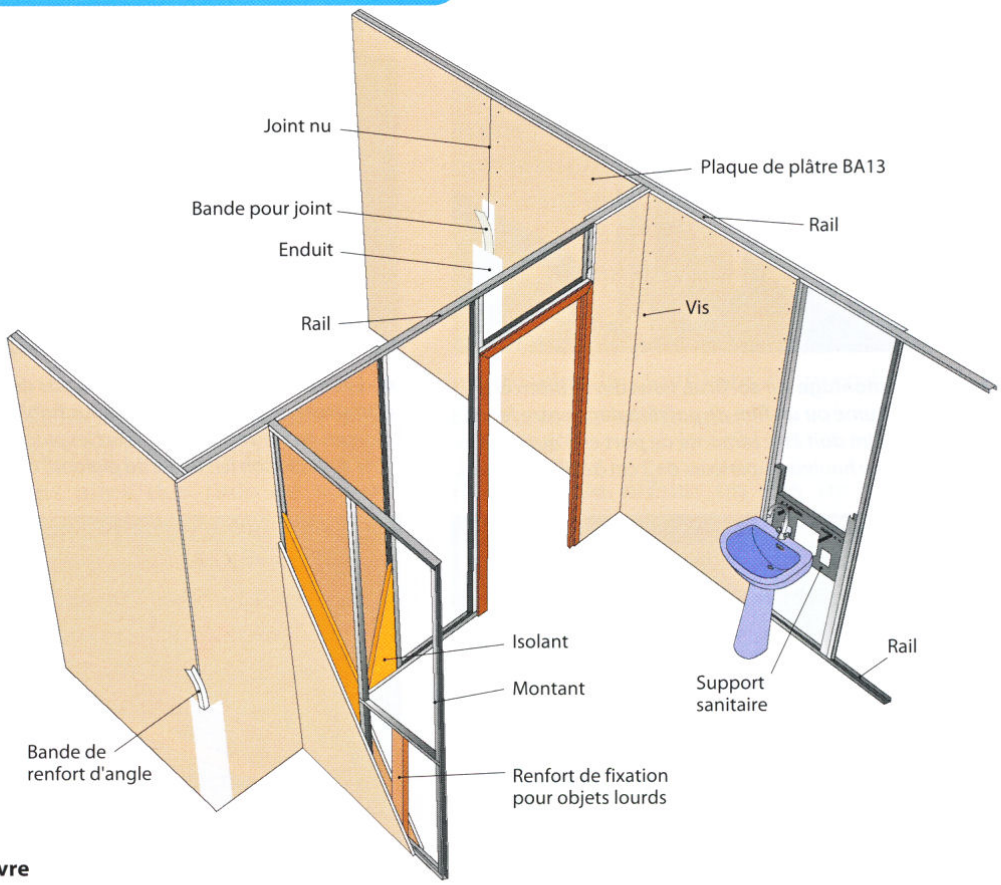
Découpez les plaques de plâtres à la hauteur d'étage moins 10 mm. Plaquez-les au plafond, puis vissez-les sur chaque montant d'ossature, avec un pas de 0,30 m pour les fixations, jusqu'à 1 cm des bords.
Posez les plaques d'abord d'un côté de la cloison. Installez les panneaux d'isolant semi-rigides découpés de la hauteur d'étage, plus 1 cm, entre les rangées de montants.
Distribuez, le cas échéant, les conduits des lignes électriques, puis aux emplacements prévus pour les appareillages, réalisez les trous des boîtes d'encastrement avec une scie cloche.

Posez ensuite les plaques de plâtre sur l'autre face de la cloison. Attention, veillez à décaler les joints entre les plaques d'une face à l'autre de la cloison. Par exemple, si vous débutez la pose avec une plaque entière sur une face, utilisez une demi-plaque pour débuter l'autre face. Respectez également cette règle si vous posez deux épaisseurs de plaques de chaque côté, décalez les joints entre chaque épaisseur.

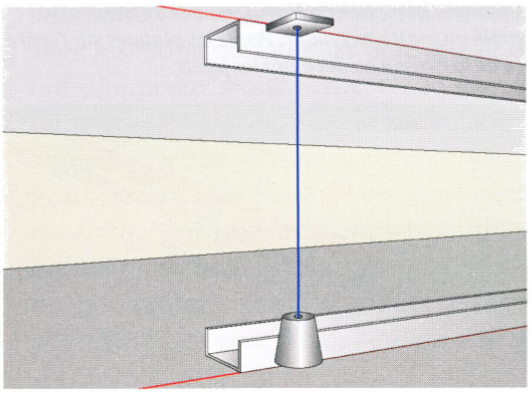
Si les cloisons sont destinées à être carrelées et comportent une seule plaque en parement, adoptez un entraxe de 0,40 m pour les montants. Pour une mise en œuvre dans les locaux humides, utilisez des plaques hydrofuges. Si le sol est fini, améliorez l'étanchéité en réalisant un joint de mastic à la jonction avec le bord inférieur des plaques. Si le sol est brut, installez également des plaques

Mise en œuvre des cloisons distributives 1/2 (Source Lafarge)

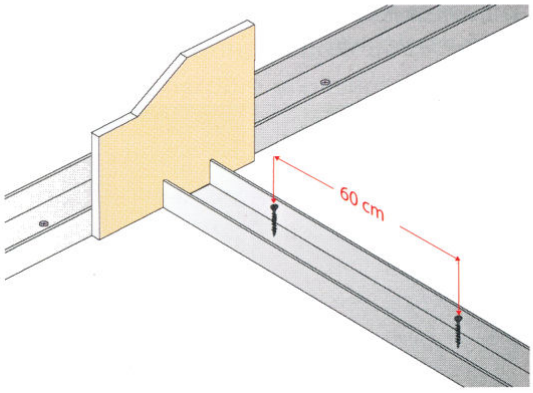
Principe



Mise en œuvre



1 - Matérialisez l'emplacement de la future cloison au plafond et sur les murs. Reportez le tracé du plafond à l'aide d'un fil à plomb. Vous pouvez également utiliser un système de niveau laser. Fixez le tracé avec un cordeau à poudre.

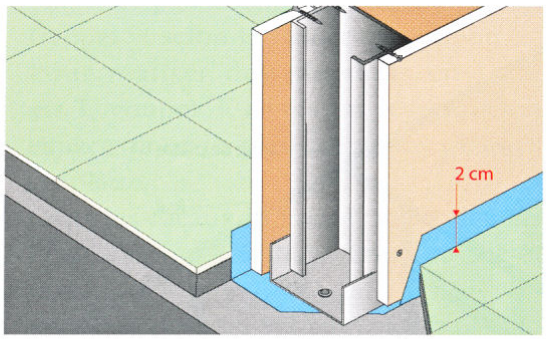


2 - Sur sol fini, les rails sont fixés mécaniquement au pas de 0,60 m. Une fixation par collage est également possible avec un produit adapté. Dans les locaux humides, un joint souple doit être placé entre le sol et les rails. Pour les jonctions en T ou en L, tenez compte de l'épaisseur de la plaque de plâtre.

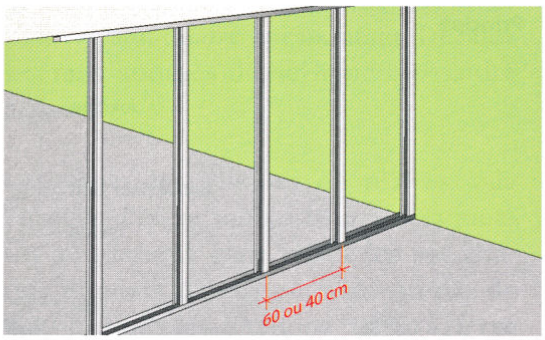
Figure 307: La mise en œuvre des cloisons distributives (1/2)

Mise en œuvre des cloisons distributives 2/2

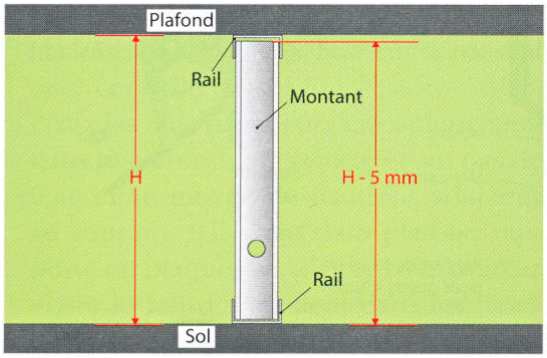
(Source Lafarge)



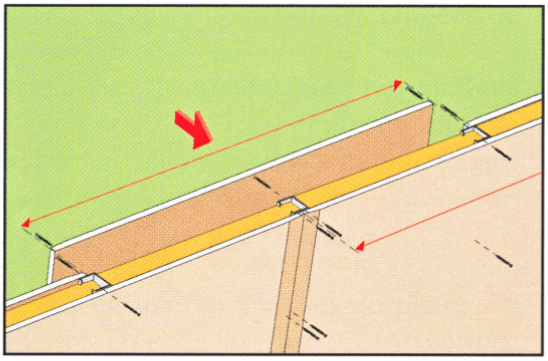
3 - *Pour un montage sur sol brut, vous devez intercaler un feutre bitumé ou un film de polyéthylène entre le rail et le sol. Le film doit être remonté de part et d'autre de la cloison sur une hauteur supérieure de 2 cm à celle du sol fini.*



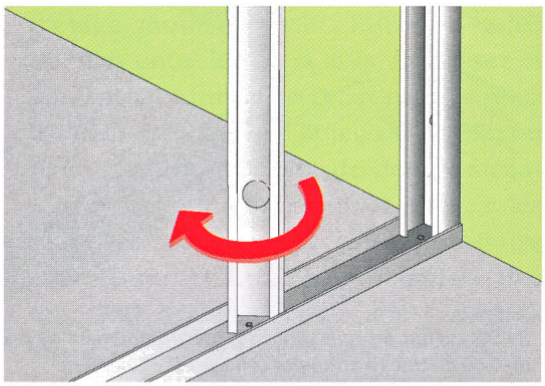
6 - *Les montants sont installés au pas de 40 ou 60 cm. Choisissez un pas de 40 cm si vous habillez la cloison de plaques de plâtre doublées. Fixez les plaques de plâtre d'un côté de la cloison (en butée au plafond) et posez l'isolant.*



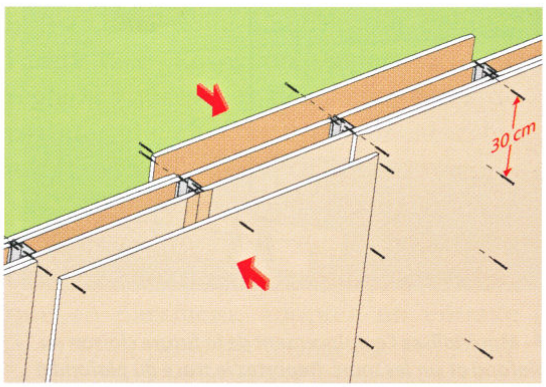
4 - *Les montants doivent être découpés à la hauteur sol/plafond diminuée de 5 à 10 mm pour pouvoir être placés dans les rails.*



7 - *Les plaques de plâtre sont découpées de la hauteur sol/plafond diminuée de 1 cm. L'espace inférieur sera comblé au mastic acrylique. Posez les plaques sur l'autre face de la cloison en décalant les joints.*



5 - *Fixez mécaniquement le premier montant sur la paroi verticale. Installez les suivants verticalement entre les deux rails en les tournant d'un quart de tour.*



8 - *Le décalage des joints entre les plaques de plâtre doit également être respecté pour les cloisons à parement multiple. Les vis de fixation sont posées au pas de 30 cm.*

Figure 307 : La mise en œuvre des cloisons distributives (2/2)

hydrofuges et réalisez une protection supplémentaire en posant un film polyéthylène avec remontées sur la cloison.
En cas de changement de destination de la pièce, si elle devient humide et que les plaques déjà installées sont standard, il faut soit les remplacer, soit les recouvrir d'un produit d'étanchéité sous carrelage, avec une bande d'étanchéité à la jonction avec le sol (voir les doublages, page 390).

Installez les blocs-portes à l'avancement de la réalisation de l'ossature (figure 308). Découpez les ailes des rails de sol au niveau de l'huisserie, puis repliez le rail en équerre de chaque côté. Installez un montant de chaque côté du bloc porte, à fixer avec l'huisserie, à travers le relevé du rail du sol et sur toute la hauteur du bâti de la porte.

Procédez de la même façon pour l'imposte. Pliez un rail à ses extrémités, puis vissez-le sur le dessus du bloc-porte. Posez des montants découpés à chaque extrémité de l'imposte. Vous les visserez avec les montants latéraux et le relevé du rail d'imposte. Pour respecter le pas de pose choisi, placez des montants intermédiaires au niveau de l'imposte.
Pour réunir deux cloisons perpendiculaires, posez les parements sur la première, puis fixez le rail d'extrémité de la seconde dans le montant de la première. Posez le parement de la seconde cloison. Procédez de la même façon pour un angle saillant. Réalisez le nez du premier pan de cloison sur un montant. Il sert d'appui pour le rail du deuxième pan.
La pose des huisseries en appui sur une cloison doit toujours s'effectuer en les fixant sur un montant. Celui-ci peut être l'un des montants réguliers correspondant au pas de pose ou être ajouté dans ce seul but.
Pour un confort satisfaisant, il est important de ne pas négliger les contraintes acoustiques (figure 309) avant de réaliser des cloisons. Cela est particulièrement important pour certaines pièces, notamment les chambres. Dans le cas de doublages filants d'isolation sur le mur en contact avec l'extérieur, vous obtiendrez de meilleures performances si la cloison interrompt le doublage et prend appui directement sur le mur.

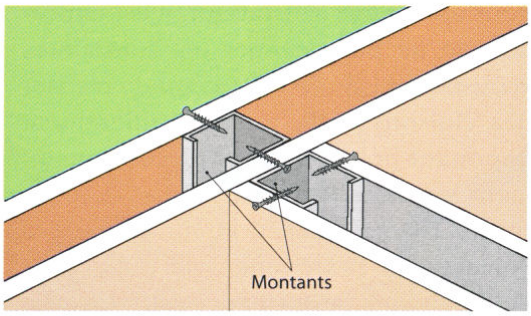
Il en va de même en cas de plafond rapporté non isolé en plaques de plâtre. Les sons se propagent dans le plénum du faux-plafond et passent dans la pièce contiguë. Pour éviter ce problème, réalisez la cloison avant le faux-plafond qui s'appuiera alors sur celle-ci par l'intermédiaire de cornières. Vous pouvez aussi interrompre le parement du faux-plafond au niveau de la cloison, puis placer un isolant dans le plénum au droit de la cloison. Y compris dans le cas d'un plafond rapporté, le fait d'interrompre les plaques de plâtre et l'ossature au droit de la cloison, crée une barrière acoustique.

Faites également attention à la disposition des boîtes d'encastrement de part et d'autre de la cloison. Évitez par exemple de les placer en vis-à-vis.
La figure 310 illustre les étapes de mise en œuvre de cloisons distributives sur une ossature, en utilisant des plaques de plâtre acoustiques renforcées.
Après la pose des parements, réalisez les joints entre les plaques, puis les finitions. Pour plus d'informations et pour connaître les fixations possibles dans les plaques de plâtre, reportez-vous au paragraphe concernant les doublages sur ossature métallique, page 420.

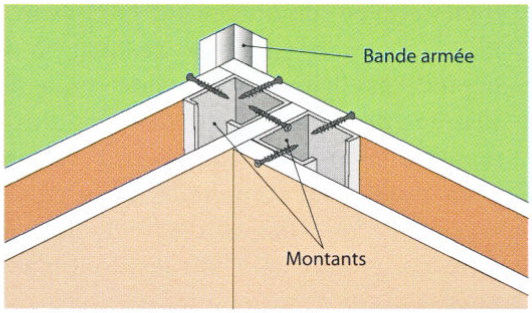
Détails constructifs des cloisons distributives

(Source Lafarge)

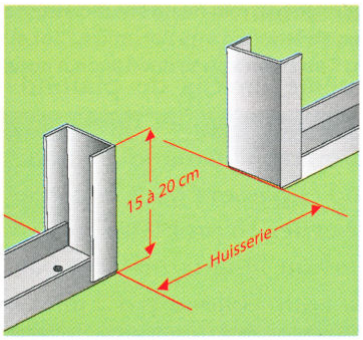
Jonctions



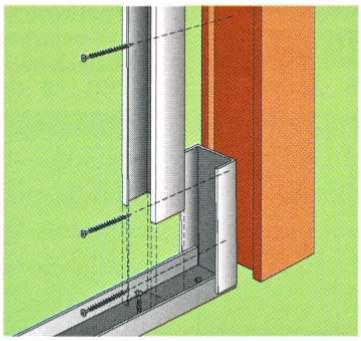
Angle sortant



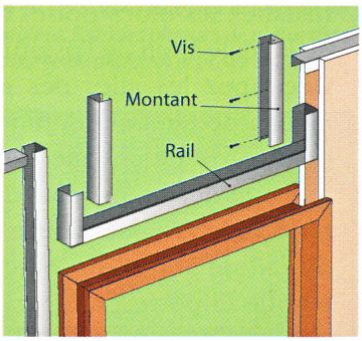
Montage des huisseries



***1** - Au niveau d'une huisserie, découpez les ailes du rail et pliez-le à 90 ° pour créer une remontée de 15 à 20 cm.*



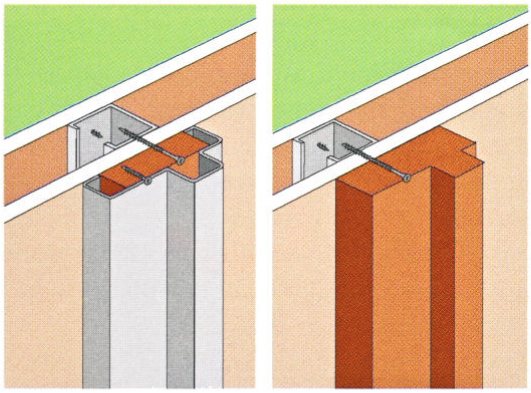
***2** - Positionnez l'huisserie, puis vissez-y un montant de chaque côté. Le montant est fixé également à travers la remontée du rail pour solidariser l'ensemble.*



***3** - En imposte, utilisez également un rail replié ainsi que deux montants de la hauteur de l'imposte. Les montants seront coincés entre le rail de l'imposte et le rail en plafond.*

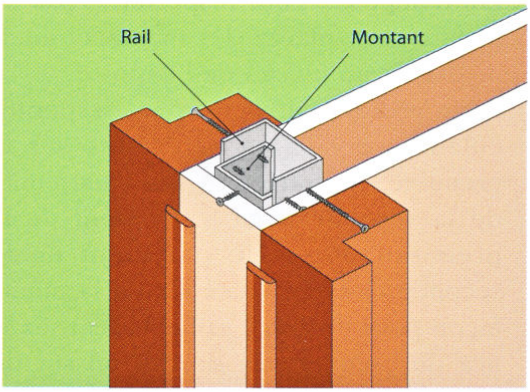
Autres cas d'huisseries

Huisserie en appui sur cloison



Une huisserie bois est vissée sur la cloison au niveau d'un montant. Pour une huisserie métallique, vissez préalablement un tasseau en bois sur lequel sera vissée l'huisserie métallique.

Huisserie en nez de cloison



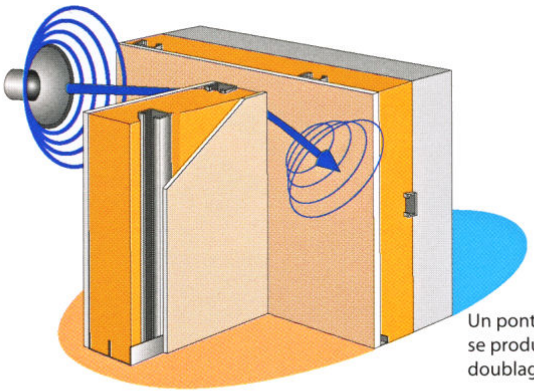
Fixez un rail sur le montant pour assurer une meilleure rigidité. Vissez une languette de plaque de plâtre entre les deux huisseries. Le joint peut être masqué par des chants plats.

Figure 308 : Les détails constructifs des cloisons distributives isolées

Traitement des ponts acoustiques des cloisons distributives

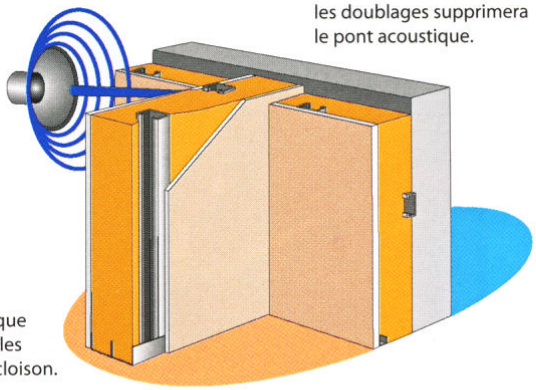
(Sources : Isover et Placo)

Doublages filants

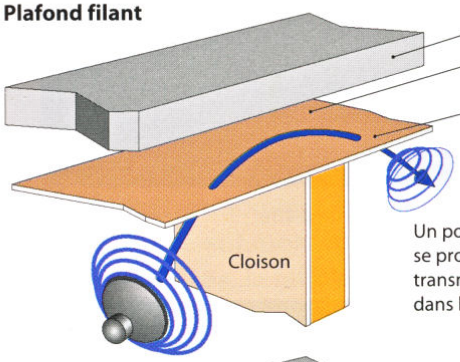


Un pont acoustique se produit entre les doublages et la cloison.

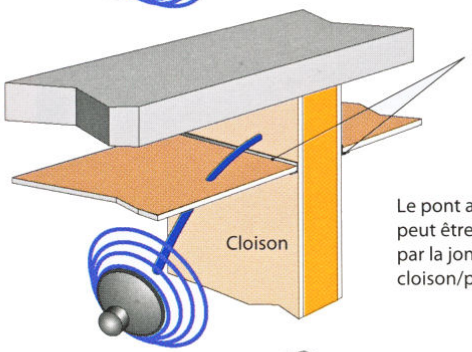
Réaliser la cloison avant les doublages supprimera le pont acoustique.



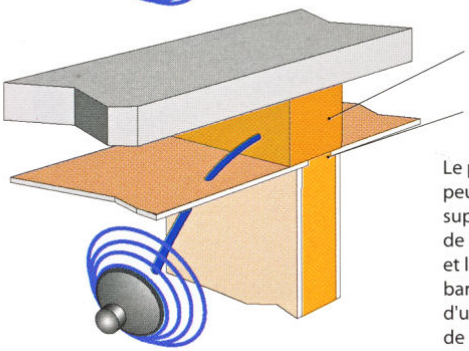
Plafond filant



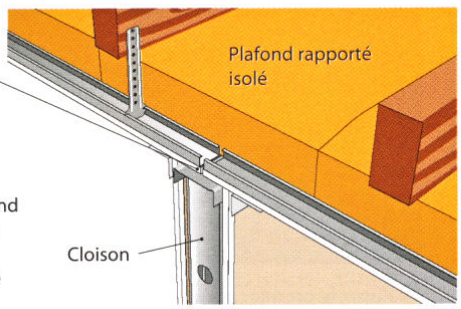
Un pont acoustique se produit par transmission latérale dans le plénum.



Le pont acoustique peut être supprimé par la jonction cloison/plancher haut.

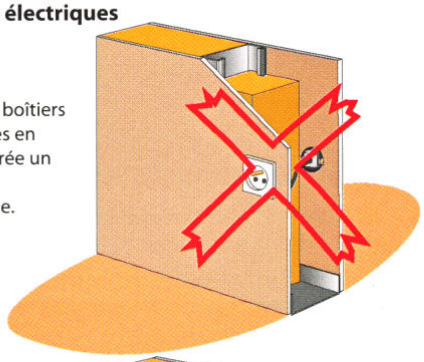


Le pont acoustique peut être également supprimé par la rupture de la continuité du plafond et la mise en place d'une barrière acoustique ou d'un plafond isolé (figure de droite).



Boîtiers électriques

Poser des boîtiers électriques en vis-à-vis crée un pont acoustique.



Il suffit de décaler les percements.

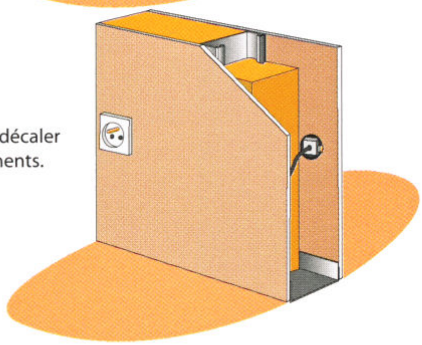
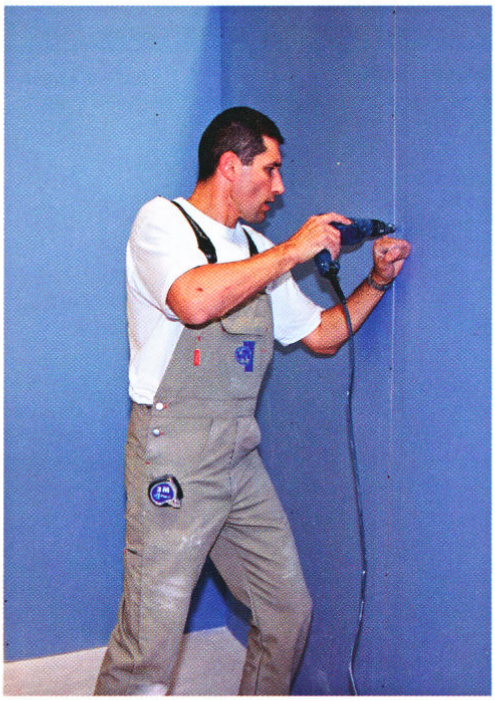


Figure 309 : Le traitement des ponts acoustiques des cloisons distributives

1 Réalisez l'ossature métallique.



3 Fixez les plaques de plâtre.

© Placo x 4

2 Posez le premier parement, puis l'isolant.

4 Réalisez les des joints.

Figure 310 : La mise en œuvre d'une cloison légère acoustique

Les planchers

Dans une construction traditionnelle, les planchers bas ou intermédiaires sont des sources potentielles importantes de ponts thermiques. En isolation par l'extérieur, le plancher bas doit être traité avec soin. En isolation par l'intérieur, ce sont les planchers lourds intermédiaires qui vont poser problème.

Des solutions simples existent pourtant, mais elles restent encore confidentielles à cause de leur coût parfois ou à cause du manque d'information et du poids des habitudes et des procédés de travail. Or, la plupart des solutions sont véritablement efficaces lorsqu'elles sont envisagées dès la construction. Il est toujours plus délicat et souvent moins efficace d'adopter une solution de rénovation.
Dans tous les cas, la faisabilité des exemples constructifs non traditionnels présentés dans les paragraphes qui suivent doit faire l'objet d'une étude préalable.

Les dalles sur terre-plein et les radiers

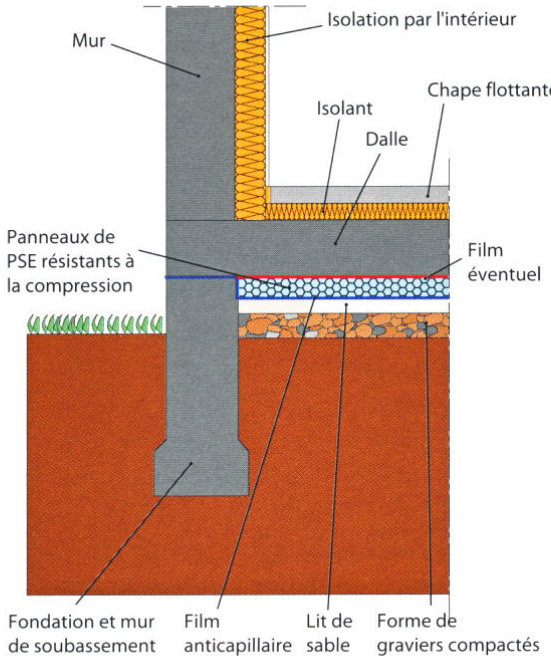
Les dallages sur terre-plein sont destinés aux constructions légères entraînant une surcharge faible sur le sol d'assise. Le terre-plein consiste en une forme compacte réalisée sous la dalle de sol. Cela nécessite de décaper le terrain et d'appliquer une sous-couche ou une forme drainante composée de pierres concassées ou de gravier tout venant. Après compactage, on obtient l'assise horizontale. On nivelle ensuite une couche de sable, de 3 à 5 cm d'épaisseur, au moyen d'une règle. Ce sera l'assise sur toute la surface du plancher pour les panneaux isolants incompressibles et non hydrophiles. Un film d'étanchéité est ensuite nécessaire avant la pose des panneaux isolants à bords jointifs. Un film d'étanchéité supplémentaire peut éventuellement venir protéger les panneaux, notamment contre la pénétration des laitances de ciment. Cette précaution est utile, notamment si les panneaux ne sont pas bouvetés et les joints non protégés. De plus, cela évite les éventuelles remontées d'humidité par capillarité.
Un terre-plein autorise le coulage direct d'une dalle avec armature, de 10 à 15 cm d'épaisseur.

Sur le même principe, on distingue deux types de dallage sur terre-plein : le dallage solidarisé et le dallage désolidarisé. Dans le premier cas, la dalle de plancher en béton armé prend appui sur les murs de soubassement et sur le terre-plein. Cette solution est la plus stable mécaniquement.

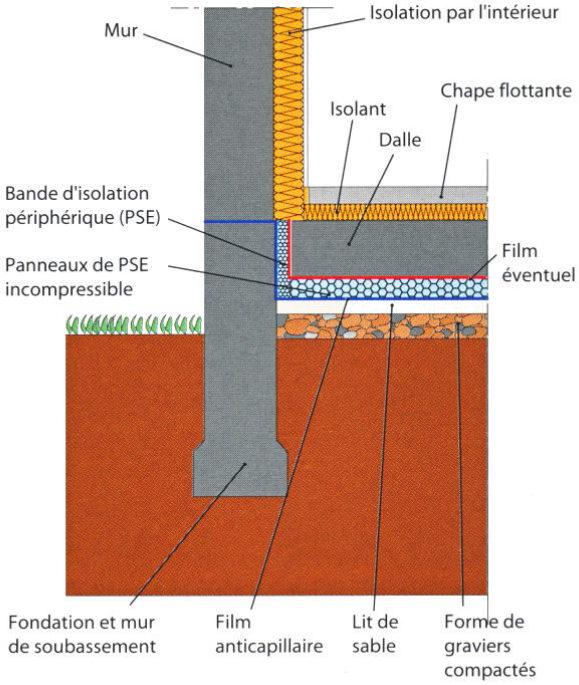
Dans une telle configuration, avec une isolation thermique par l'intérieur, il est indispensable de réaliser une chape flottante sur la dalle pour limiter les ponts thermiques (figure 311).
Le dallage désolidarisé nécessite une bande d'isolant périphérique. Dans ce cas, la dalle ne repose plus sur les soubassements. Certaines solutions constructives prévoient d'ajouter des supports

Isolation d'une dalle sur terre-plein

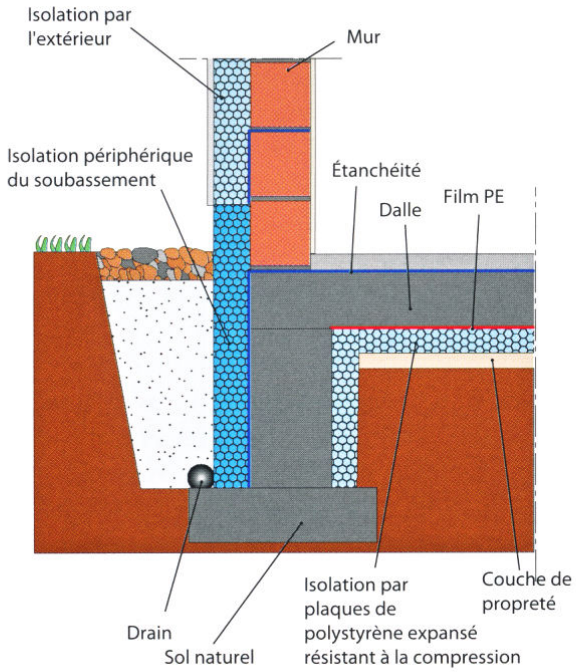
Isolation en sous-face
(dallage solidarisé)



Isolation en sous-face et périphérie
(dallage désolidarisé)



Isolation sous dalle et par l'extérieur



Isolation des semelles filantes

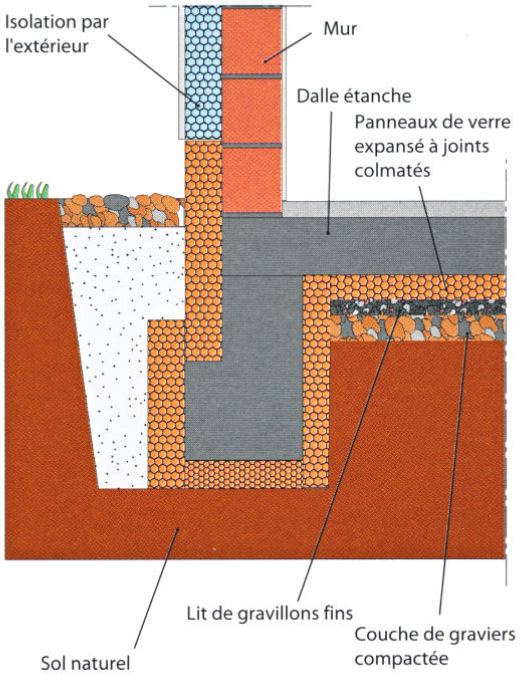


Figure 311 : L'isolation d'une dalle sur terre-plein

verticaux supplémentaires, repris directement sur les semelles filantes.
Le dallage désolidarisé est valable uniquement pour les sols stables, compacts et insensibles au tassement. En ce qui concerne l'isolation, la bande périphérique permet de traiter le pont thermique en about de dalle. En cas d'isolation thermique par l'intérieur, une chape flottante permet d'améliorer les performances. La solution de la dalle désolidarisée convient aussi pour des projets de rénovation lourde avec réfection des sols.
La figure 312 présente les étapes de mise en œuvre d'un dallage sur terre-plein désolidarisé en rénovation. L'isolant est un polystyrène extrudé en panneaux bouvetés ou feuillurés.

Sur une forme de graviers compactés, déposez un lit de sable et dressez-le de niveau. Placez une barrière de capillarité consistant en un film de polyéthylène, en prenant soin de le relever le long des parois verticales. Faites se chevaucher les lés de film sur une largeur de 10 cm au moins. Assemblez les lés avec du ruban adhésif.

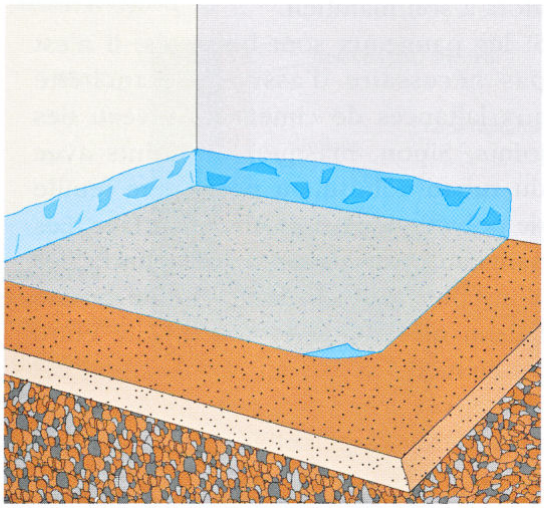
Commencez la pose de l'isolant dans un angle. Pour présenter des bords droits le long des murs, découpez les languettes ou les feuillures des panneaux. Vous devez donc orienter les rainures vers l'extérieur, ce qui permet l'emboîtement des panneaux suivants. Dans l'angle, pour un bon départ, il peut être nécessaire de recouper le panneau, surtout si l'équerrage n'est pas parfait. Pour la deuxième rangée de panneaux, décalez les joints.

Installez une bande de désolidarisation latérale sur tout le pourtour de la pièce. Elle peut être dans le même matériau que les panneaux. Installez-la de préférence avant les panneaux de sol qui serviront alors à son maintien.
Si les panneaux sont bouvetés, il n'est pas nécessaire d'assurer l'étanchéité aux laitances de ciment au niveau des joints. Sinon, masquez les joints avec du ruban adhésif ou posez une feuille de polyéthylène sur toute la surface. Les panneaux bouvetés sont donc plus faciles à installer tout en assurant une bonne liaison mécanique et l'étanchéité entre les éléments. S'ils sont certifiés pour cet usage, ces panneaux peuvent accueillir un système de plancher chauffant. Dans ce cas, l'isolant doit avoir une résistance thermique R minimale de 2,00 m^2.K/W.
Installez des cales d'espacement, un treillis métallique, puis coulez la dalle. Elle pourra recevoir n'importe quel type de revêtement de sol. Si l'isolation thermique est intérieure, assurez la continuité de l'isolant avec la remontée périphérique de la dalle.

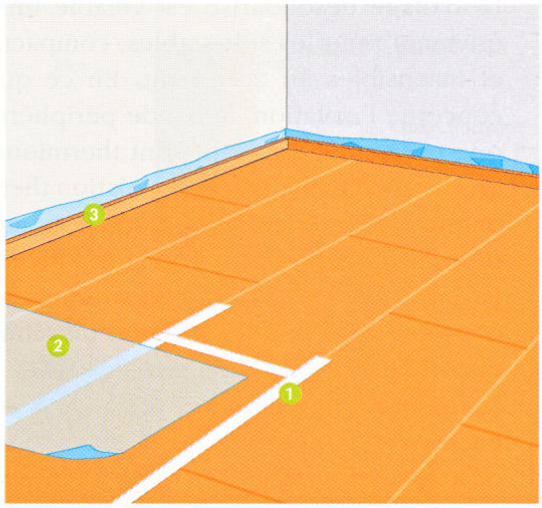
Si l'isolation thermique est extérieure, il est nécessaire de prolonger l'isolation au niveau des soubassements, côtés extérieur et intérieur. La dalle doit également reposer sur un isolant. Cette solution permet d'allonger le parcours du pont thermique sans toutefois le supprimer.

L'unique moyen de le supprimer totalement consiste à isoler les semelles filantes de toutes parts, y compris sous les fondations. Pour cela, choisissez un isolant thermique offrant une forte résistance à la compression, capable de supporter les charges sans tassement ni fluage, par exemple du verre cellulaire. Cette solution est particulièrement intéressante notamment lorsque les fondations sont peu profondes. L'inconvénient des dalles sur terre-plein est qu'elles ne

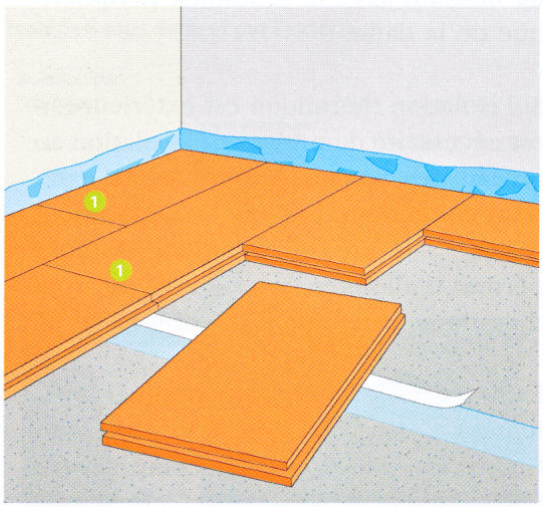
Réalisation d'une isolation sur terre-plein en rénovation



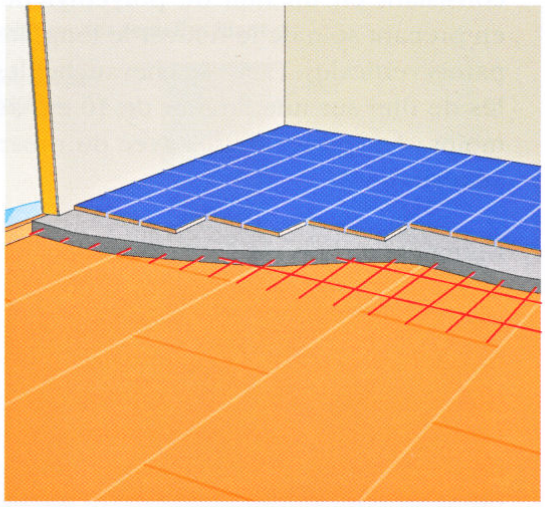
1 - Sur une forme de graviers compactés, réalisez une forme de sable stablisée et réglée de niveau. Placez un film étanche assurant une barrière anti-capillarité avec un relevé périphérique sur les murs. Les lés doivent se chavaucher et être solidarisés avec du ruban achésif approprié.



3 - Selon le type de panneaux utilisés et le type de chape choisie, il peut être nécessaire d'assurer l'étanchéité entre panneaux avec du ruban adhésif 1 ou de placer une feuille de polyéthylène 2. Pour éviter les ponts thermiques, posez une bande de désolidarisation le long des murs 3.



2 - Mettez en place les panneaux d'isolant en partant d'un angle d'équerre. Sinon, découpez les premiers panneaux pour partir d'équerre. Les panneaux se posent à joints décalés 1. Ils peuvent disposer de bords lisses ou de feuillures pour assurer un meilleur raccord. En cas de plancher chauffant, utilisez un isolant adapté.



4 - Coulez votre chape ou votre dalle selon les préconisations des textes en vigueur. Procédez à la pose de l'isolation par l'intérieur (complexes isolants collés ou ossature métallique) en veillant à ne pas provoquer de discontinuité de l'isolation (entre isolation périphérique et isolation murale).

Figure 312 : La réalisation d'une dalle sur terre-plein en rénovation

permettent pas de réaliser un sous-sol ou un vide sanitaire.
Une autre possibilité est le radier. C'est une autre forme d'assise pour les constructions. Il est utile lorsque le sol est de qualité médiocre : il faudrait alors réaliser des semelles filantes de trop grandes dimensions. Un radier est une dalle épaisse de béton armé sur laquelle sont érigés les murs de façade et les refends. Sa surface peut correspondre à l'emprise du bâtiment ou être légèrement supérieure. Le sol d'assise doit être homogène et dépourvu de points durs qui mettraient la dalle en porte-à-faux. En cas de sols très compressibles, il faut répartir les charges en réalisant un lit de graviers tout venant compacté ou un béton de propreté.
Cette solution permet de réaliser des constructions avec ou sans sous-sol. Après étude, l'épaisseur de la dalle et le ferraillage sont déterminés en fonction des charges à supporter.
La pose traditionnelle, sans sous-sol, consiste à décaisser le sol et à couler un béton de propreté (figure 313). On pose ensuite les panneaux d'isolant, puis on les recouvre d'un film de polyéthylène. Le radier est coffré, puis coulé avec ses armatures. On réalise une étanchéité sur et en nez de dalle, avec remontées sur la face externe des éléments de mur. En optant pour l'isolation par l'extérieur vous assurerez la continuité de l'isolant avec pour avantage la suppression du pont thermique. Pour évacuer les eaux, prévoyez également un drainage périphérique.

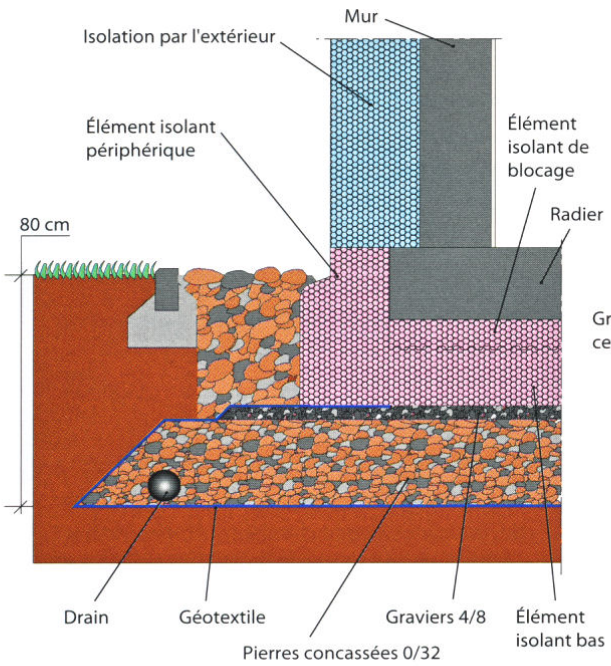
Pour réaliser un sous-sol, s'il y a des contraintes d'étanchéité, il faut prévoir une maçonnerie en béton étanche (cuvelage), sinon un béton normal convient. Le verre cellulaire est un choix adapté grâce à sa bonne résistance à la compression et à son caractère non hydrophile. Une fois le terrain décaissé, on le recouvre d'une couche de graviers compactés. Dans le cas d'un cuvelage, il convient de poser les panneaux isolants sur un lit de gravillons, directement dans un béton de propreté frais ou sur un béton durci recouvert d'une couche de sable d'égalisation. On colmate les joints entre les panneaux. On encolle la couche d'isolation avec un adhésif bitumeux à froid de 4 mm d'épaisseur.
Les étapes suivantes sont le coulage de la dalle, puis l'élévation des murs. Posez des panneaux isolants de même type, avec la colle bitumeuse, sur les soubassements en contact direct avec l'isolation sous dalle.

Dans le cas d'une maçonnerie enterrée en béton normal, posez les panneaux isolants sur un bain de bitume chaud, sur une chape de béton durcie. Appliquez ensuite une étanchéité sur les panneaux, puis un film de séparation en PE et éventuellement une couche ou une chape de protection. Coffrez, ferraillez et coulez la dalle. Ensuite, passez à l'édification des parois verticales. Collez les isolants du soubassement sur une étanchéité et appliquez une couche de protection externe.

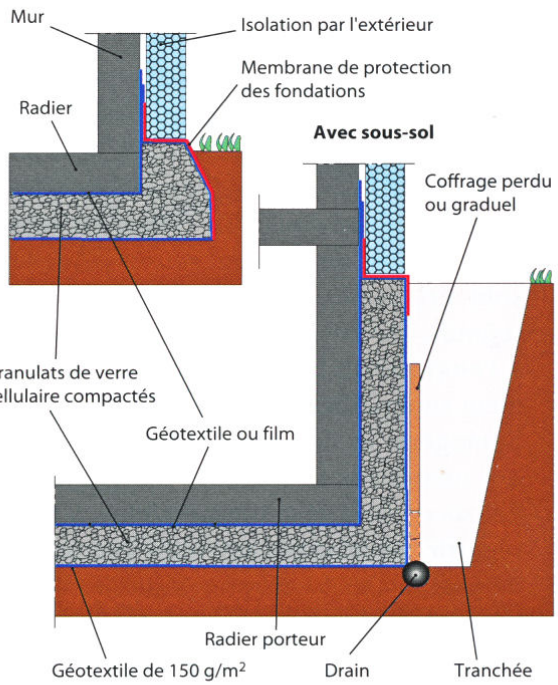
Pour isoler un radier enterré ou non, vous pouvez également utiliser des granulés de verre cellulaire. Dans ce cas faites décaisser le sol, mettez en place un géotextile et les réseaux, puis déposez une couche de granulés de verre cellulaire. Avant de couler la dalle, faites-les compacter. La couche minimale est de 150 mm. L'inconvénient est qu'il faut veiller que l'eau ne stagne pas dans les granulés, au risque de diminuer les performances

Isolation sous radier

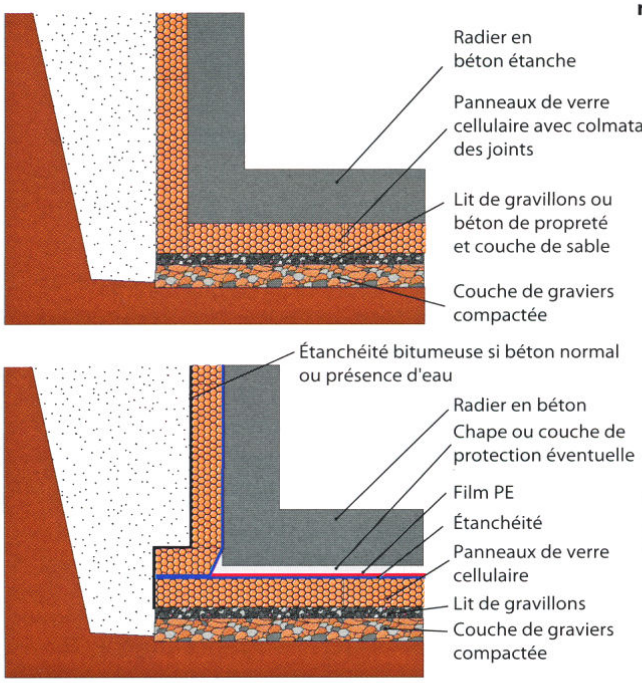
Avec semelle polystyrène (Isoquick)



Avec granulats de verre cellulaire (Technopor)



Avec panneaux de verre cellulaire



Avec panneaux de polystyrène expansé résistant à la compression

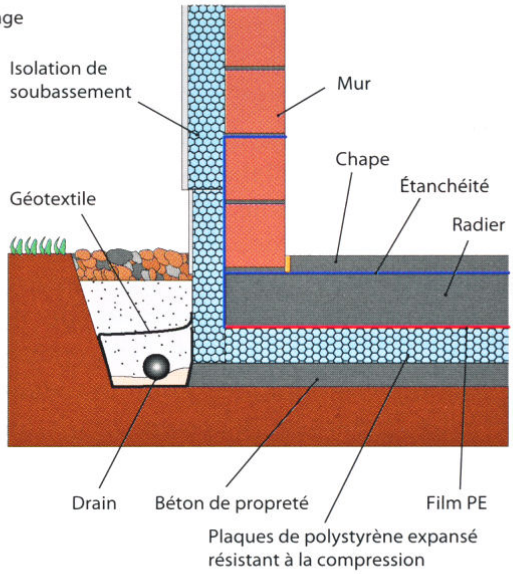


Figure 313 : L'isolation sous radier

thermiques. C'est pourquoi vous devez réaliser un drainage efficace autour de la construction. Vous pouvez également isoler les soubassements (figure 314) en utilisant un coffrage perdu.

© Technopor

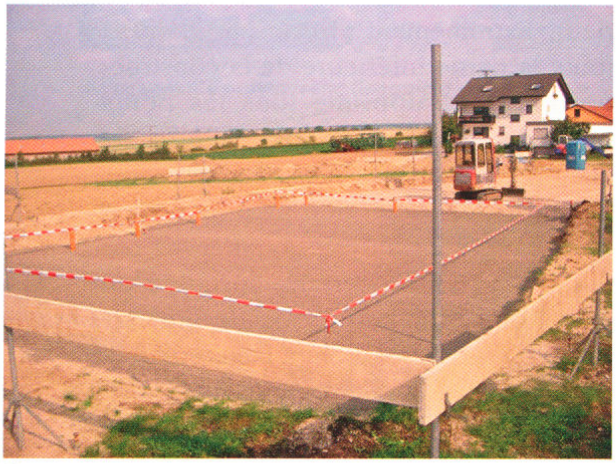
Figure 314 : L'isolation sous radier avec des granulés de verre cellulaire

Une autre solution, originaire d'Outre-Rhin est encore plus efficace puisqu'elle est valable pour le niveau maison passive, pour des radiers de plain pied ou enterrés. Le principe consiste en des éléments manufacturés en polystyrène extrudé (Peripor®) : des modules périphériques, des modules de fond et des modules de blocage. Plusieurs épaisseurs sont disponibles pour des radiers de 20 à 30 cm d'épaisseur.

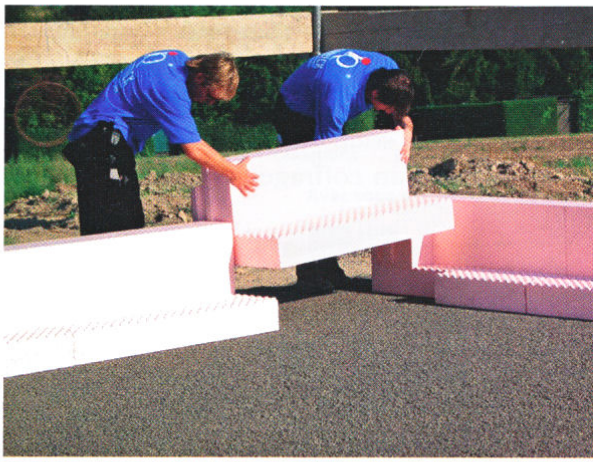
Le procédé est prévu pour être raccordé avec une isolation thermique par l'extérieur. Extrêmement efficace, il englobe toute la partie inférieure de la construction, ce qui supprime tous les ponts thermiques dans cette zone délicate de l'habitation. Les modules sont résistants à la compression et non hydrophiles.
Pour la mise en œuvre, commencez par faire décaisser le terrain. Installez un géotextile, puis une forme de graviers tout venant (0/32) compactée, sur une épaisseur de 30 cm au minimum. Avant la mise en œuvre de la forme, réalisez le drainage à la périphérie de la maison, puis installez les arrivées des réseaux (eau, évacuation...).

Sur la forme de tout venant, répandez une couche de 5 cm de graviers (4/8) compactée et arasée de niveau.
L'emprise du radier sera matérialisée par les modules périphériques. Ils feront également office de coffrage latéral pour la dalle (figure 315). Installez ensuite les éléments de fond et les éléments de blocage, à l'avancement. Les reliefs de ces éléments assurent le blocage parfait des panneaux entre eux et avec les éléments périphériques, ce qui évite tout risque de décalage.

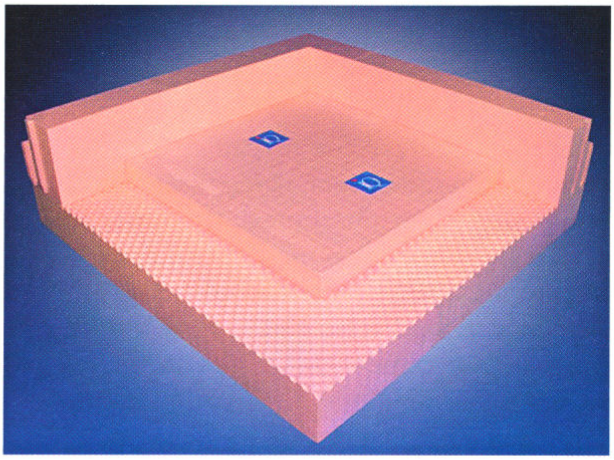
Sur la surface ainsi créée, déroulez un film de PE afin d'éviter la pénétration des laitances de béton dans les joints entre panneaux. Réalisez le ferraillage de la dalle sur des cales d'écartement. Enfin faites couler le béton de la dalle. Attendez le séchage complet avant de procéder à l'élévation des murs.
Ce procédé est utilisé avec succès pour des maisons passives en Autriche, combiné avec des blocs de coffrage isolants en polystyrène. Dans ce cas, des fers sont posés en attente sur la dalle, puis les blocs de coffrage (figure 316).



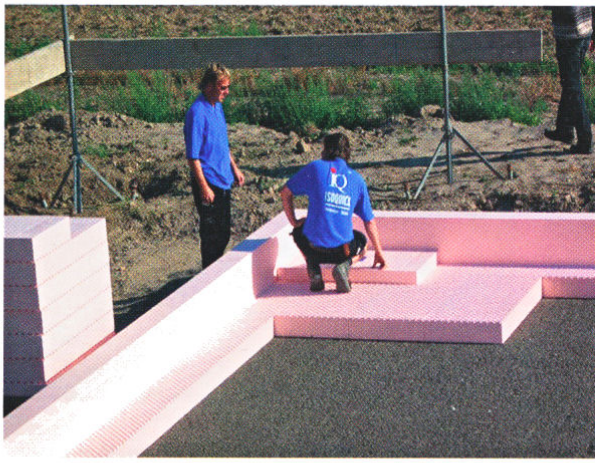
1 On réalise les formes de graviers et le compactage.



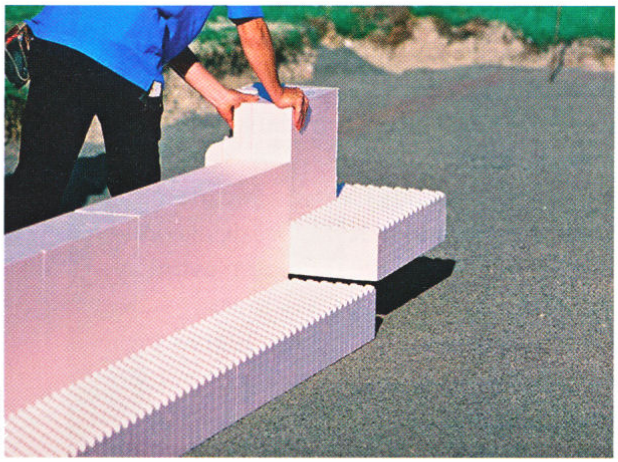
4 On effectue des découpes dans les angles.



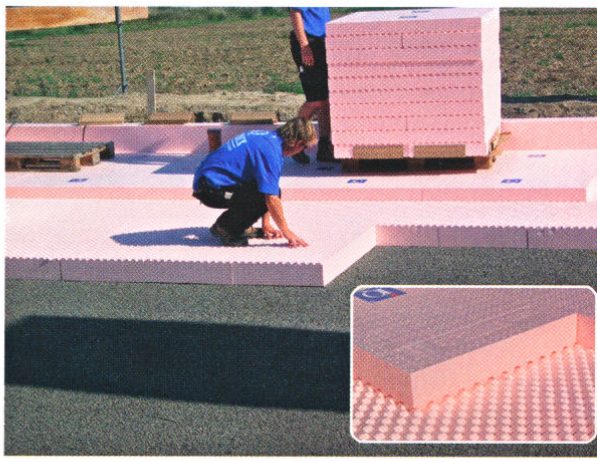
2 On choisit l'isolant en fonction des performances souhaitées.



5 Dans un angle, on pose un élément de fond, puis un élément de blocage.



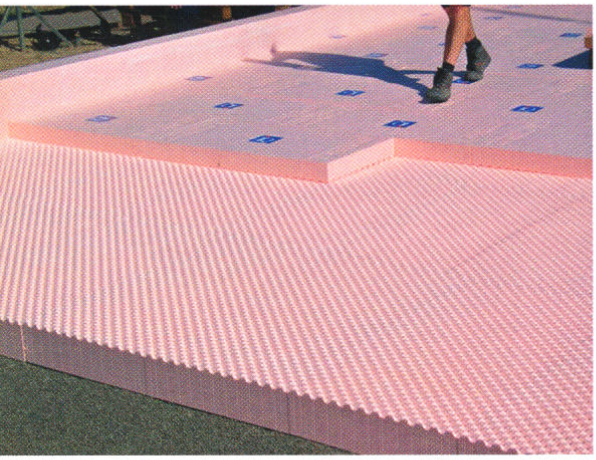
3 La pose commence par les éléments périphériques.



6 On poursuit ainsi à l'avancement.

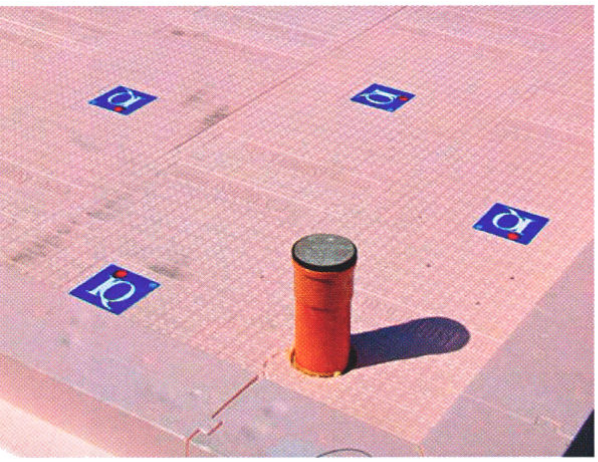
© Isoquick x 6

Figure 315 : La mise en œuvre d'un radier sur coffrage isolant en polystyrène



9 La cohésion d'ensemble est assurée grâce aux éléments de blocage.

9 Les réseaux d'évacuation sont distribués selon le plan.



9 Les éléments sont découpés au niveau des remontées d'évacuation.

© fotolia x 6

10 On pose un film PE et des cales de ferraillage.

11 On met en place le ferraillage, puis on coule le radier.

12 La dalle est protégée pour le séchage.

Figure 315 : La mise en œuvre d'un radier sur coffrage isolant en polystyrène (suite)

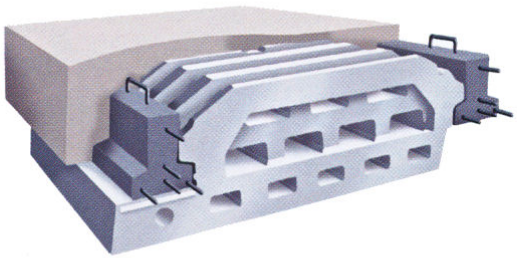
© Loibner-Manfred

Les fers en attente après le coulage du radier

La pose des blocs de coffrage isolants

Figure 316 : Le radier sur coffrage et blocs de coffrage isolants

Les planchers bas isolants



© KP1

Les planchers bas sont réalisés sur un vide sanitaire ou sur un sous-sol. Le sujet étant l'isolation, seuls les planchers isolants sont abordés, fondés sur des entrevous en polystyrène à languette (pour les performances thermiques, voir page 268). Évitez les entrevous isolants sans languette de recouvrement de la sous-face des poutrelles, car ils ne permettent pas de répondre à la réglementation thermique.

Les types d'entrevous en polystyrène sont nombreux. La première distinction à opérer tient au mode de fabrication qui en définit l'usage. Les entrevous moulés (figure 317) sont alvéolés et utilisés pour les planchers hauts de sous-sol. Ils doivent être ignifugés (classe au feu M1). Leur fond en polystyrène est plat. Ils peuvent recevoir un parement décoratif ou de protection complémentaire. Les hourdis en polystyrène moulé sont disponibles dans des longueurs de 0,60, 1,20, 2,40 m ou dans la longueur correspondant à la travée du plancher (figure 318). Leur mise en œuvre est adaptée pour des entraxes de poutrelles de 0,60 ou 0,63 m.

Les entrevous découpés sont pleins et destinés à la réalisation de planchers sur vide sanitaire. Ils se présentent en éléments de 0,60, 1,00, 1,20 et 2,00 m. Il existe également des complexes de longueur correspondant à la travée de plancher et qui intègrent une poutrelle précontrainte en béton (figure 319). Ce procédé est intéressant du point de vue thermique, puisque la languette est solidaire du bloc de polystyrène, ce qui évite le risque de rupture lors de la pose et la parfaite adhérence entre le béton de la poutrelle et l'isolant. Ces complexes se posent en appui d'au moins 4 cm sur

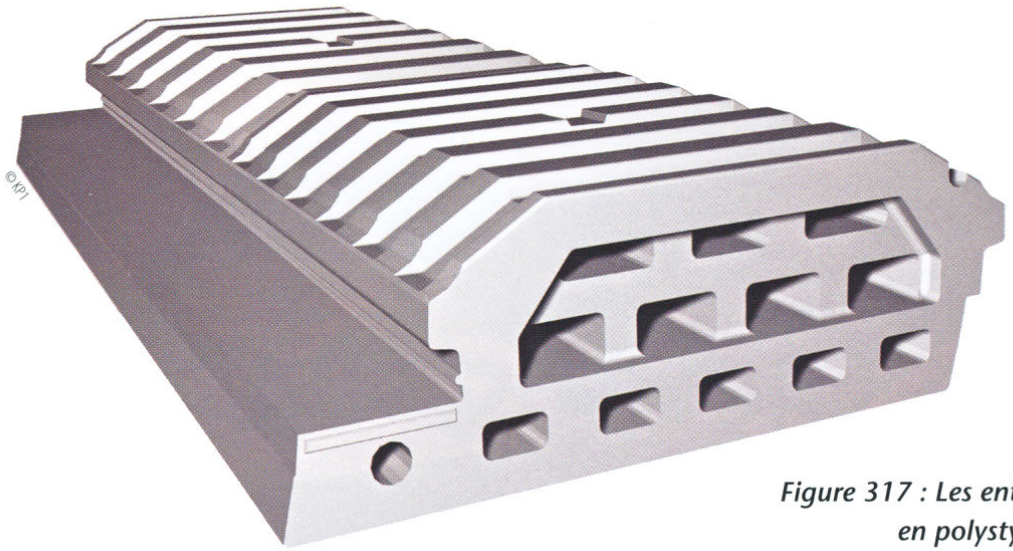

©KP1

Figure 317 : Les entrevous moulés en polystyrène

la maçonnerie, ce qui permet la parfaite continuité de l'isolation.
De façon générale, les hourdis découpés sont adaptés à des entraxes de poutrelles compris entre 0,40 et 0,70 m. Leur sous-face, plate ou décaissée, demeure apparente. En construction individuelle, il n'y a pas d'exigence particulière quant à la réaction au feu pour les entrevous des vides sanitaires. En revanche, dans les ERP, ils doivent être ignifugés.

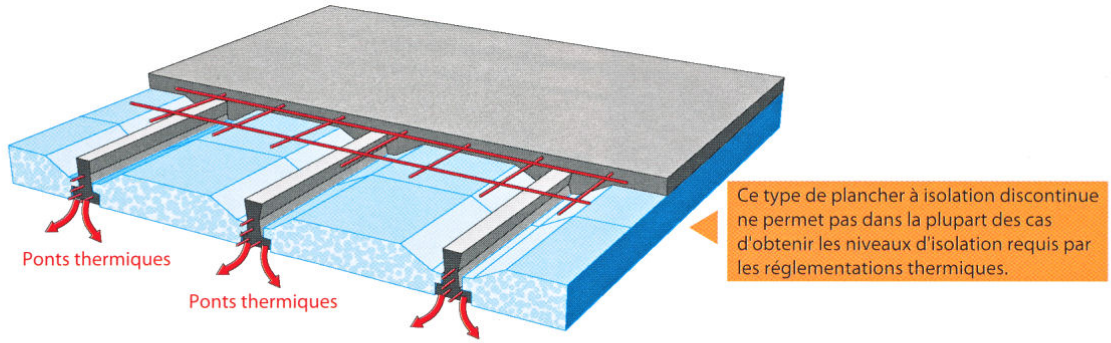
Le principe de construction d'un plancher en hourdis est fondé sur une armature de poutrelles en béton précontraint ou de poutrelles à âme treillis, destinée

©KP1

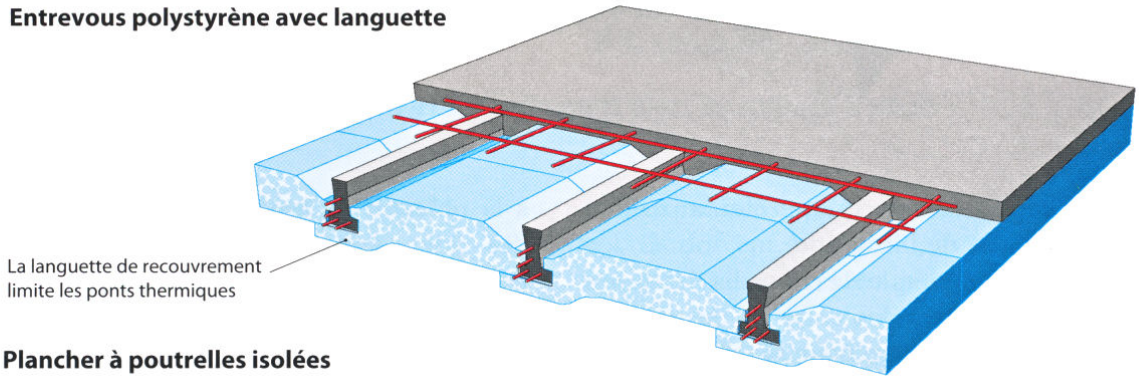
Figure 318 : La mise en œuvre d'entrevous de grande longueur

Planchers à entrevous isolants

Entrevous polystyrène sans languette



Entrevous polystyrène avec languette



Plancher à poutrelles isolées

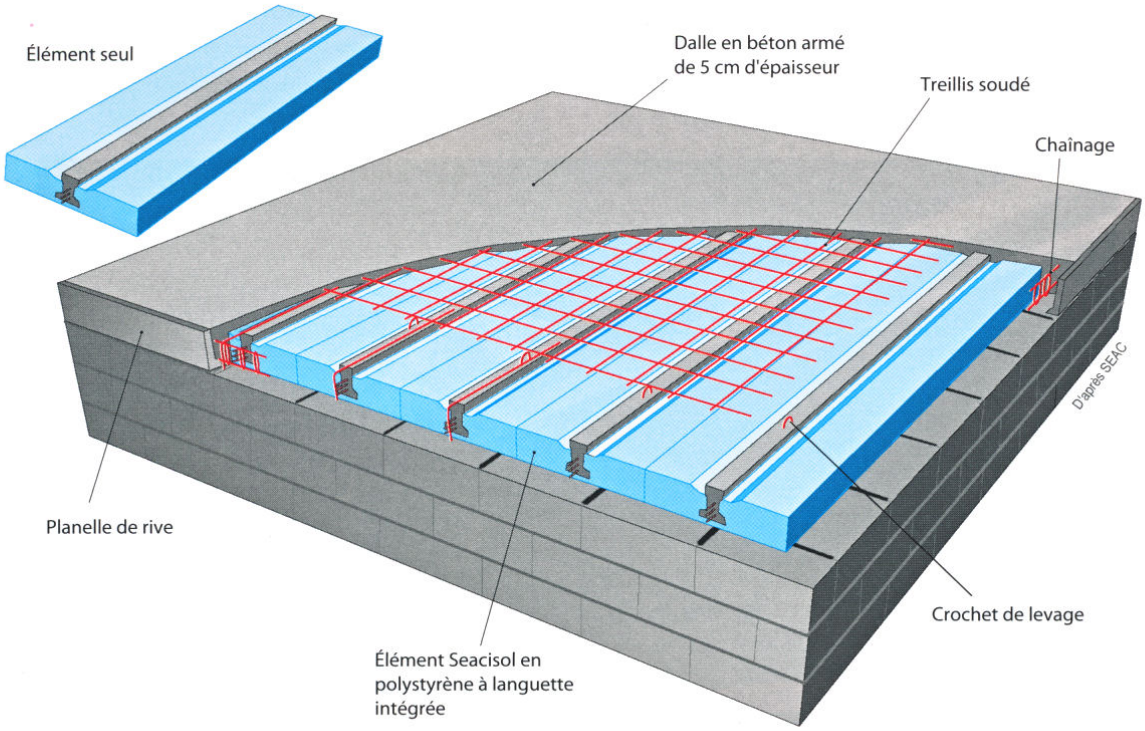


Figure 319 : Exemples de planchers à entrevous isolants

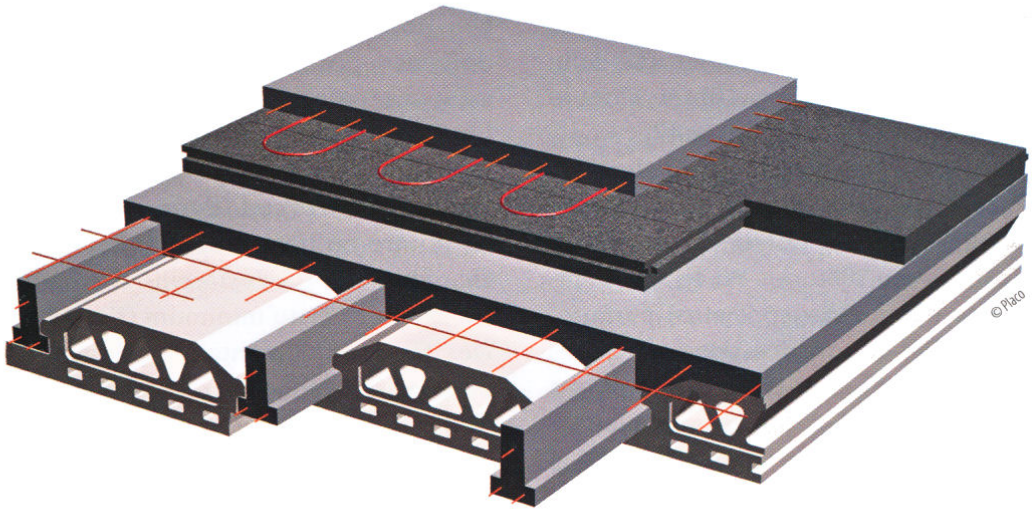
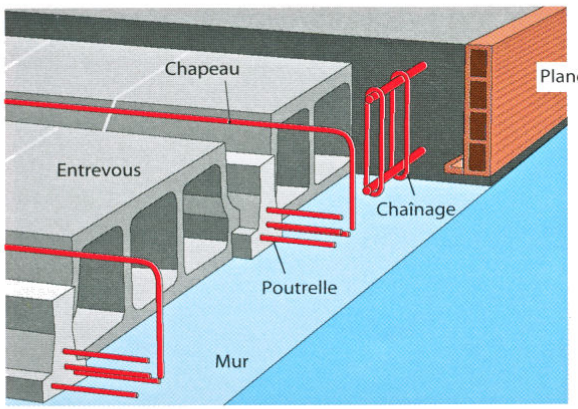


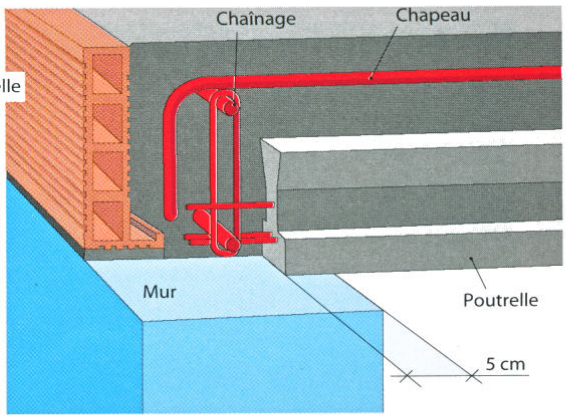
Figure 320 : Les planchers en hourdis de polystyrène plus chape flottante

Détails constructifs des planchers à entrevous

Vue de détail du chaînage



Appui des poutrelles sur la maçonnerie



Principe de pose

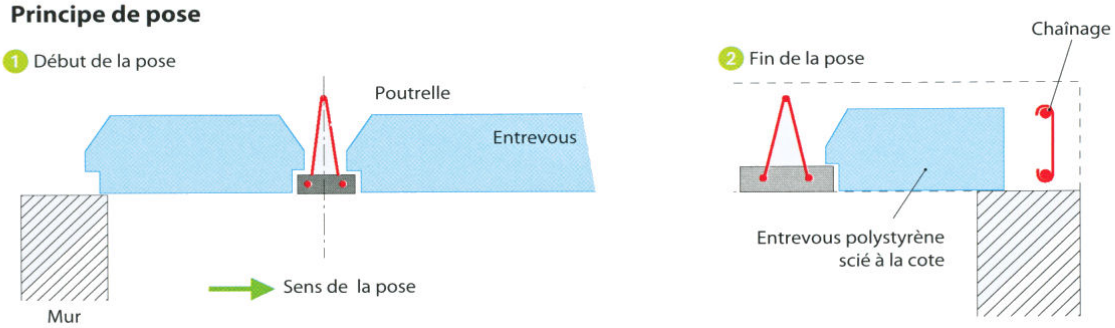


Figure 321 : Les détails constructifs d'un plancher à entrevous

à accueillir des hourdis. La surface créée servira de support pour couler une dalle de compression armée ou fibrée, dont le rôle est de solidariser l'ensemble.
Le choix, le dimensionnement des éléments, le pas de pose des poutrelles et l'étayage éventuel doivent être définis par un bureau d'études ou le fabricant. Tous les paramètres sont ainsi parfaitement étudiés en fonction des contraintes de la construction et de son plan. Vous aurez également à disposition un plan de calepinage précis pour la pose. Si vous souhaitez renforcer également l'isolation thermique par le dessus (figure 320) ou installer un plancher chauffant, prévoyez une chape flottante. Dans ce cas, le surpoids engendré doit également faire l'objet d'une étude.

Les poutrelles en béton précontraint doivent reposer sur les parois verticales avec une assise d'au moins 5 cm. Utilisez les fers dont elles sont pourvues à leurs extrémités pour les solidariser avec le chaînage horizontal (figure 321). En cas de poutre en béton, pour la reprise des charges, l'assise à l'extrémité des poutrelles est de 2 cm au minimum (figure 322). Des fers supplémentaires peuvent être nécessaires (chapeaux) entre les poutrelles et le chaînage.

Disposez les poutrelles précontraintes selon le plan de pose. Le cas échéant, pour reprendre des charges particulières comme des chevêtres de trémies, par exemple, elles peuvent être doublées.
Selon le calepinage, il peut être néces-

© KP1

Figure 322 : Les appuis des poutrelles sur une poutre en béton

saire de soutenir les poutrelles par le dessous au moyen d'étais installés entre deux lisses, haute et basse. Posez les poutrelles sur les appuis situés aux extrémités, puis étayez-les. Si vous utilisez des entrevous en polystyrène à languette, la mise en œuvre est plus délicate. En effet, les languettes fragiles nécessitent le plus grand soin.

Après la pose des poutrelles, mettez en place les entrevous dans les travées. Utilisez des lisses suffisamment larges pour ne pas endommager les languettes. Plaquez-les contre la sous-face du plancher en relevant légèrement l'étayement afin que le côté inférieur de la poutrelle soit parfaitement en contact avec la languette.

À la fin de chaque travée, les éléments d'extrémité doivent être en appui sur les murs porteurs. Recoupez la languette pour permettre un débord de l'entrevous sur le mur, de 20 mm au moins. Le respect de l'entraxe de pose prévu est assuré par la mise en place des entrevous d'extrémité (figure 323). Installez les entrevous à l'avancement, en vérifiant le bon contact entre eux et avec les poutrelles. Vérifiez également que la continuité de l'isolation avec les languettes n'est jamais rompue.

Si les entrevous sont à emboîtement, commencez la pose par un emboîtement mâle du côté chaînage, appuyé contre le mur porteur. Emboîtez les éléments suivants les uns dans les autres, au fur et à

© KP1 x 3

1. La pose des poutrelles
2. La pose des hourdis d'extrémité pour respecter l'écartement des poutrelles
3. Le remplissage des travées avec les hourdis

Figure 323 : La mise en œuvre d'un plancher en hourdis polystyrène

mesure de la pose de la travée. Découpez le dernier élément pour le faire reposer en partie sur le mur. Certains modèles sont pourvus de rainures destinées au passage des canalisations électriques et des réseaux.

Après la pose des entrevous, réalisez le ferraillage : armatures de chapeau, treillis soudé de la dalle, renforts, etc. À ce stade, le ferraillage du chaînage horizontal est déjà installé ainsi que les planelles de rive et les coffrages éventuels. Utilisez des treillis soudés pour l'armature de la dalle, avec des fers de 3,5 mm de diamètre et des mailles de 300 x 200 mm. La dalle doit avoir une épaisseur d'au moins 5 cm au-dessus des entrevous.
Le bétonnage des nervures, de la dalle de compression et des chaînages doit s'effectuer en une seule opération.

Le traitement des ponts thermiques des planchers

L'isolation par l'intérieur crée de forts ponts thermiques linéaires en about des planchers lourds quel que soit leur type constructif (figure 324). C'est une source de déperditions non négligeable et qui peut engendrer des dégradations intérieures. Ces ponts thermiques peuvent exister aussi bien pour un plancher bas, intermédiaire ou haut. Même avec une planelle en bout de dalle pleine, dans une construction en petits éléments de maçonnerie (parpaings, briques de 20 ou 25...), le pont thermique persiste, même s'il est réduit. La seule solution constructive réside dans les rupteurs de pont thermique. Encore peu utilisés en France, leurs performances en font la solution la plus indiquée pour réduire significativement les ponts thermiques dans les dalles, soit de trois à six fois moins environ. Ils doivent bénéficier d'un Avis Technique définissant leur emploi. Cependant, il persistera toujours des ponts thermiques au niveau des aciers de liaison, mais ils sont considérés comme faibles.

Avec un plancher en hourdis béton, en terre cuite, en matériaux de synthèse ou en bois moulé, le pont thermique n'est pas maîtrisé. La dalle de compression et la nature des hourdis laissent transiter le pont thermique. Les fabricants proposent désormais des limiteurs de ponts thermiques qui permettent de minimiser les points de contact avec le chaînage et le mur extérieur. Rappelons que la valeur de référence pour les ponts thermiques de la RT 2005 est de 0,40 W/m.K, pour les planchers bas, et de 0,55 W/m.K pour les planchers intermédiaires. La valeur maximale quel que soit le plancher est de 0,65 W/m.K.

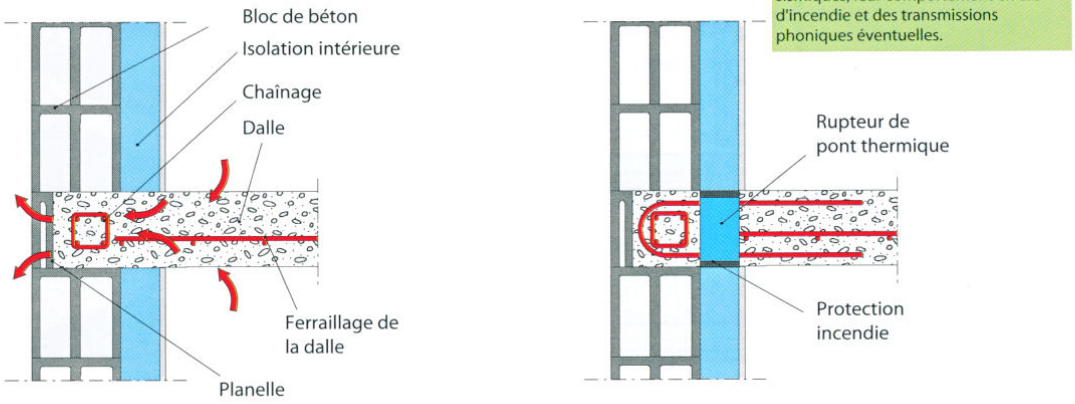
Si avec des hourdis en polystyrène, la sous-face du plancher offre une bonne protection, il n'en est pas de même avec la dalle de compression. Elle constitue un point de fuite du flux de chaleur. Les fabricants proposent des systèmes qui permettent de réduire les zones de contact entre la dalle de compression et le chaînage horizontal. Par exemple, il existe des limiteurs à emboîter sur la face supérieure des hourdis (figure 325). Ils renforcent l'isolation en créant une barrière isolante sur les côtés et en tête de travée. Des ponts thermiques persistent néanmoins au niveau des poutrelles et des fers de la dalle de compression ou des chapeaux, nécessaires pour la résistance. Le pont thermique linéaire Ψ moyen du système est de 0,22 W/m.K. Sans rupteurs, un plancher bas classique

Planchers et ponts thermiques

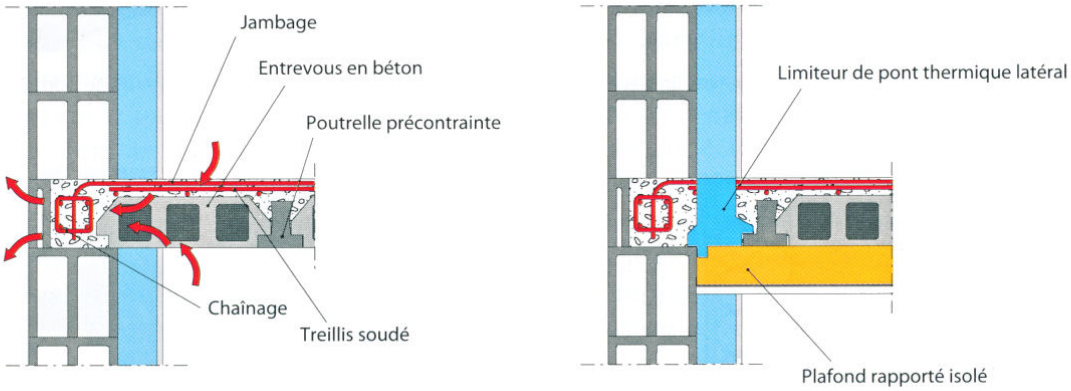
Flux thermique

Attention : les rupteurs de ponts thermiques doivent bénéficier d'un Avis Technique afin d'attester leur résistance mécanique, leur résistance aux risques sismiques, leur comportement en cas d'incendie et des transmissions phoniques éventuelles.

Dalle pleine



Plancher préfabriqué avec entrevous en béton ou isoplats



Plancher préfabriqué avec entrevous isolants

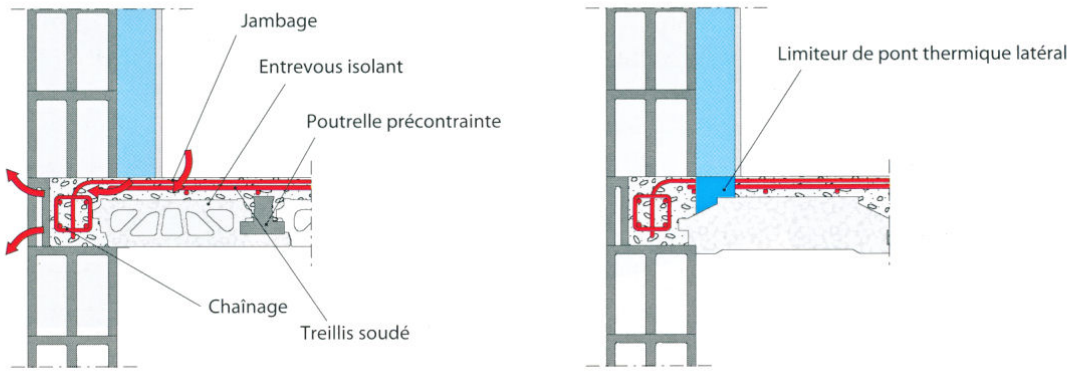
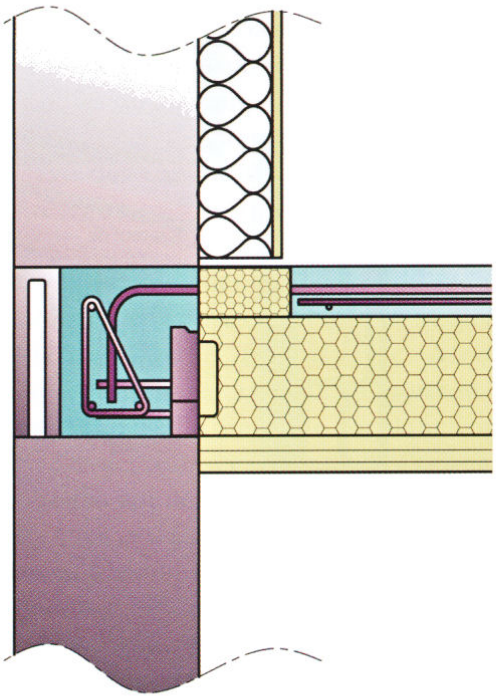
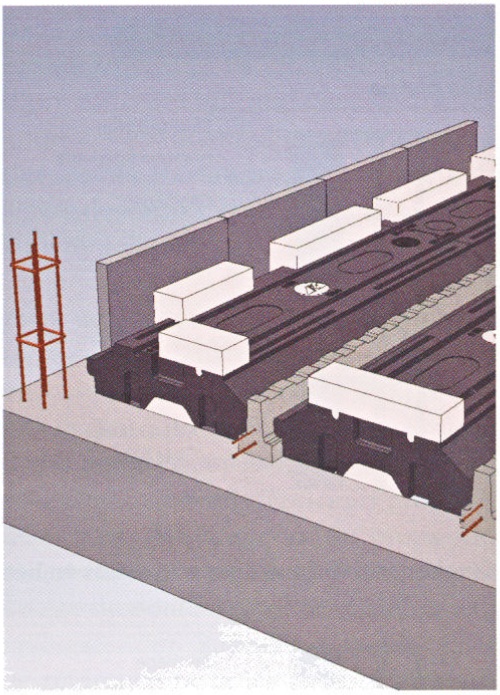


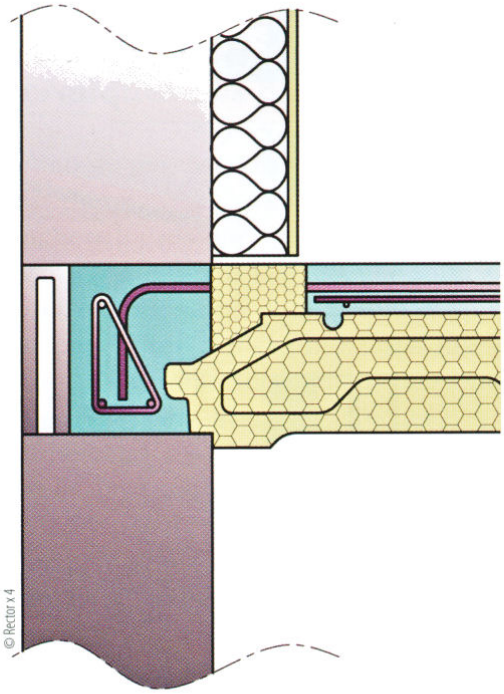
Figure 324 : Les planchers et les ponts thermiques



Vue en coupe d'un plancher avec limiteur d'about



Exemple de répartition des limiteurs de ponts thermiques



© Rector x 4

Vue en coupe d'un plancher en rive

Exemple de mise en œuvre des éléments

Figure 325 : Les limiteurs de ponts thermiques pour un plancher sur entrevous en polystyrène

de 20 cm d'épaisseur, isolé par l'intérieur, sans chape flottante, avec des murs de 15 à 30 cm d'épaisseur et entrevous isolants, présente des ponts thermiques compris entre 0,29 et 0,33 W/m.K.

Les limiteurs de ponts thermiques conviennent également pour les hourdis traditionnels en béton, dans les planchers intermédiaires ou hauts. Ils réduisent les ponts thermiques linéiques des planchers. Même avec des planelles en about de dalle, ils atteignent un flux de 0,62 à 0,70 W/m.K.
En tête de plancher, avant le premier hourdis (figure 326), on installe des éléments d'about. Entre la dernière poutrelle et le chaînage, on place des éléments de rive. Les éléments sont prédécoupés pour permettre différentes hauteurs de coffrages ou le passage des fers. Ils sont pourvus d'ergots qui permettent de les positionner parfaitement sur les poutrelles d'une part et sur le mur d'autre part. Avec ce système, il est possible de réduire un pont thermique linéaire jusqu'à 0,43 W/m.K.

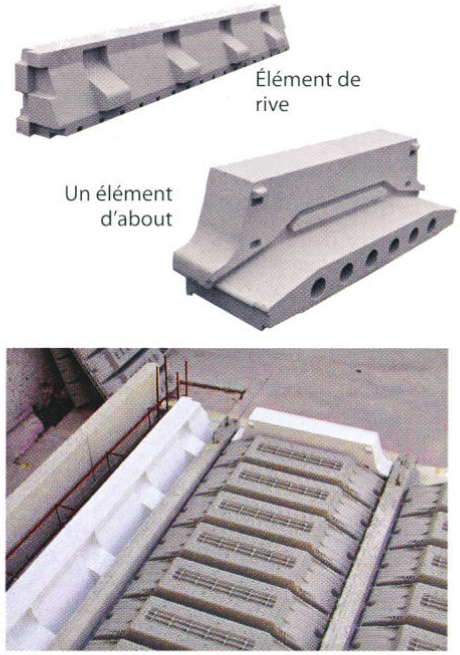
Il existe également des limiteurs de ponts thermiques spéciaux adaptés aux entrevous légers moulés en matériaux de synthèse (figure 327). Les éléments d'about ont alors une forme épousant celle des entrevous, ce qui permet un emboîtage parfait entre éléments et une distance de réglage de 80 mm. Ils comportent une paroi verticale d'une épaisseur de 80 mm pour limiter le flux thermique. On les utilise conjointement avec des éléments de rive. Un système d'emboîtement permet de joindre les éléments entre eux. La longueur d'un élément en polystyrène expansé moulé est de 122 cm. Leur profil spécial épouse les poutrelles et le mur porteur. Le plancher est désolidarisé du chaînage périphérique et le flux de la dalle de répartition est interrompu.

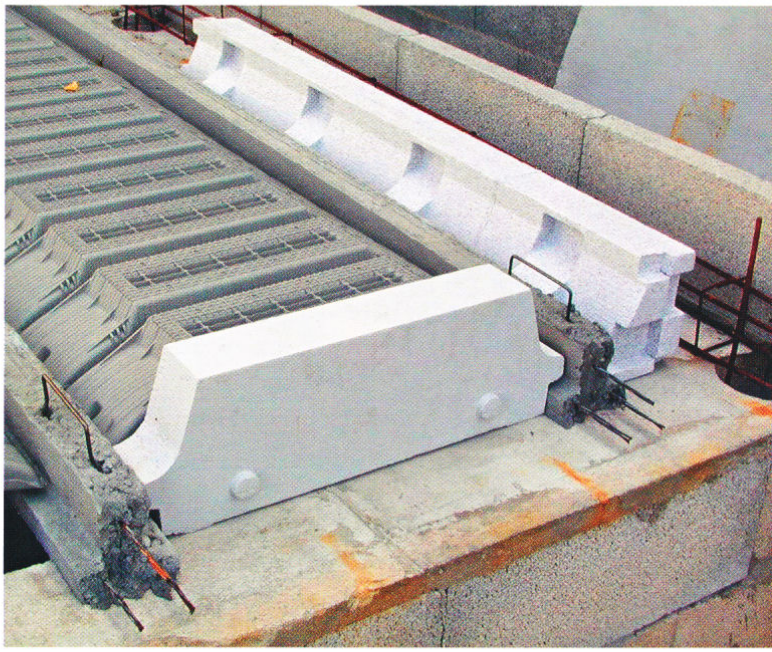
Cependant, il est à noter que, pour assurer la cohésion de l'ensemble, il convient de prévoir des fers supplémentaires. Le pont thermique linéaire moyen d'un tel plancher intermédiaire, avec plafond rapporté en plaques de plâtre et isolant au niveau des liaisons, est

La mise en place de l'élément d'about

Exemple de limiteurs avec plancher en hourdis béton

Figure 326 : Les limiteurs de ponts thermiques avec hourdis en béton





© KP1 x 4

Exemples de mise en œuvre

Figure 327 : Les limiteurs de ponts thermiques avec entrevous légers moulés

d'environ 0,23 W/m.K. La même configuration pour un plancher haut entraîne un flux de 0,15 W/m.K.

En ce qui concerne la mise en œuvre, commencez par installer la première poutrelle, puis la rangée de limiteurs entre poutrelle et mur, puis bloquez les deux éléments. Ménagez une encoche dans chaque angle de la dalle pour permettre l'installation de fers supplémentaires entre le treillis de la dalle et le chaînage (trois fers de 8 mm de diamètre HA FeE500 de 1 m de longueur recourbés sur 10 cm pour faire office de chapeaux). Procédez de même tous les 1,20 m. Installez les poutrelles intermédiaires avec les limiteurs d'about pour régler leur écartement. Installez les éléments d'about en butée, au nu du mur intérieur. Lorsque l'autre extrémité du plancher est atteinte, découpez le dernier entrevous pour lui faire prendre appui sur la partie inférieure du rupteur latéral. Lorsque les entrevous sont installés, mettez en place le ferraillage : armatures en chapeau, renforts, treillis soudé. Le treillis soudé doit recouvrir toute la surface du plancher, tout en respectant un jeu de 10 à 20 mm le long des rupteurs latéraux. Vous pouvez ensuite faire couler le plancher et le chaînage en une seule opération.

Pour habiller la sous-face du plancher, créez un plafond rapporté isolé. Veillez à assurer le parfait contact de l'isolant avec les limiteurs d'about et avec les poutrelles en béton, ainsi qu'entre les limiteurs latéraux et la première poutrelle. Si l'isolant n'est pas assez épais, créez une remontée pour assurer ce contact. Si le plafond rapporté n'est pas isolé, posez quand même des bandes d'isolants sur ces points singuliers (figure 328).

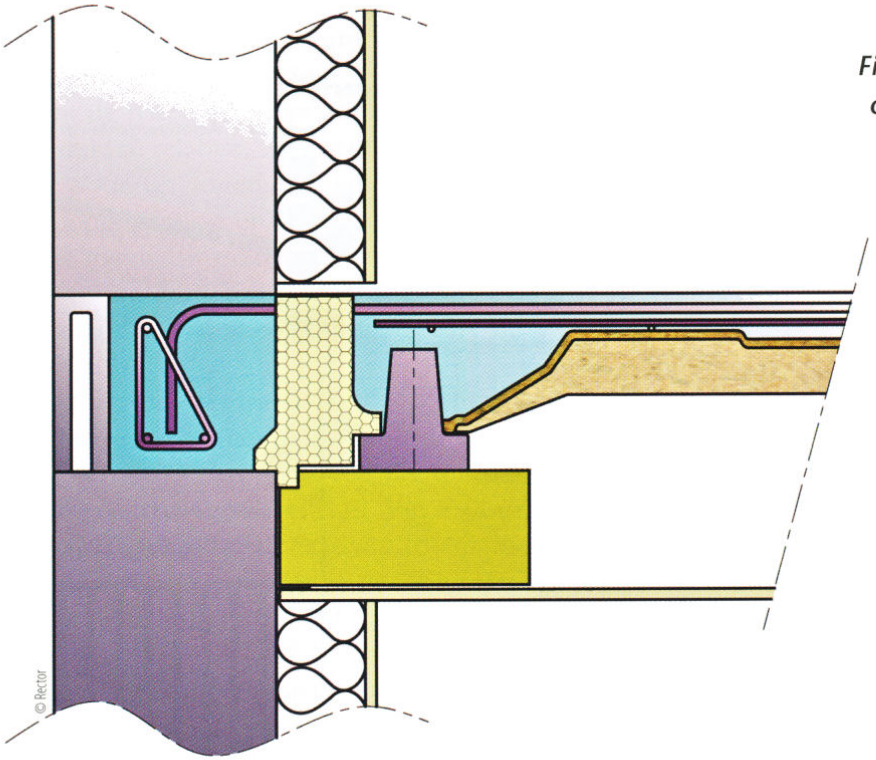


Figure 328 : L'isolation complémentaire sous plancher

Outre les limiteurs, on peut considérer une deuxième catégorie, les rupteurs. Les limiteurs sont en fait des éléments de remplissage qui diminuent les surfaces de contact entre la dalle et le chaînage périphérique horizontal. Ils sont réservés aux planchers à hourdis. L'inconvénient est que les poutrelles de béton précontraint restent en contact avec le chaînage, d'où la persistance d'un flux thermique si réduit soit-il.

Les rupteurs de pont thermique sont de véritables éléments structurels, adaptés à tous types de construction, y compris les immeubles collectifs, à la différence des limiteurs, ils créent une barrière continue entre la dalle et la paroi extérieure. Même s'ils ne suppriment pas non plus la totalité des ponts thermiques, ils les réduisent considérablement. En revanche, ils ne sont valables que pour les planchers en béton (dalle pleine en béton armé, prédalle en béton armé, prédalle précontrainte). Les murs peuvent être en petits éléments de maçonnerie ou en béton. Les rupteurs ne conviennent pas pour les planchers bas sur terre-plein, sur radier ou sur vide sanitaire.

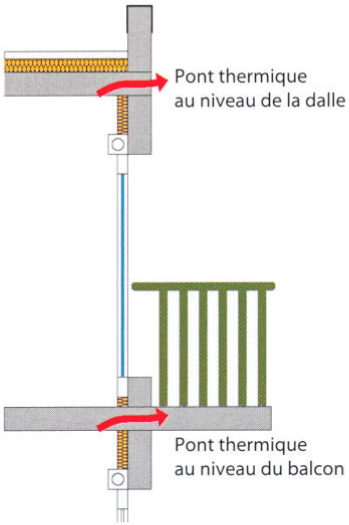
Rappelons que les ponts thermiques peuvent créer 20 à 30 % des déperditions totales d'un logement et qu'en isolation thermique par l'intérieur (solution la plus utilisée en France), on est inévitablement confronté à des problèmes aux jonctions dalle/façade, dalle/balcon, refend/façade et acrotère (figure 329).

Prenons pour exemple le cas d'une jonction dalle/façade, en isolation par l'intérieur. Si le pont thermique n'est pas traité, la température superficielle au niveau de l'angle du plafond et de l'isolation peut atteindre 9,7 °C, avec

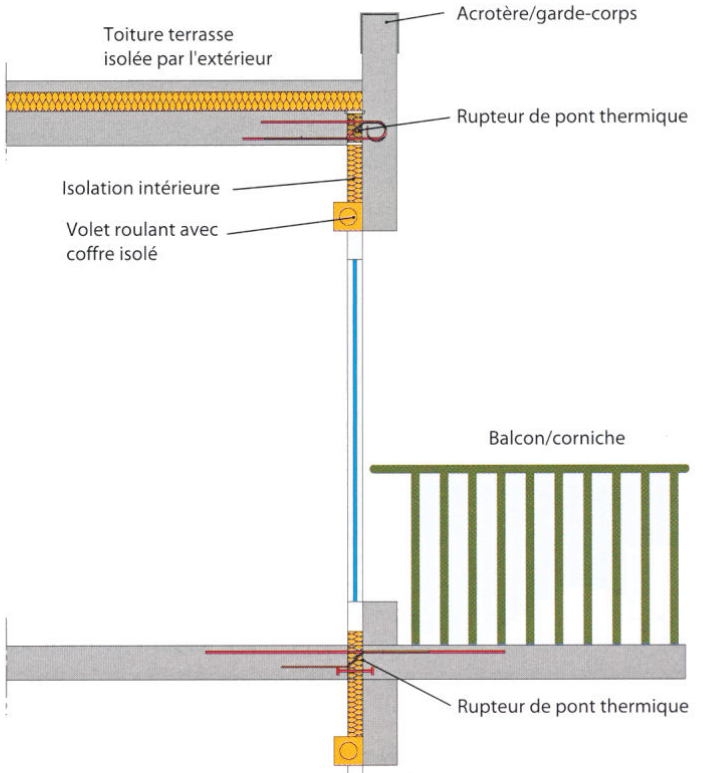
Isolation par l'intérieur et rupteurs de ponts thermiques

D'après Schöck

Exemple de ponts thermiques linéaires



Traitement constructif des ponts thermiques



Principe du rupteur de pont thermique

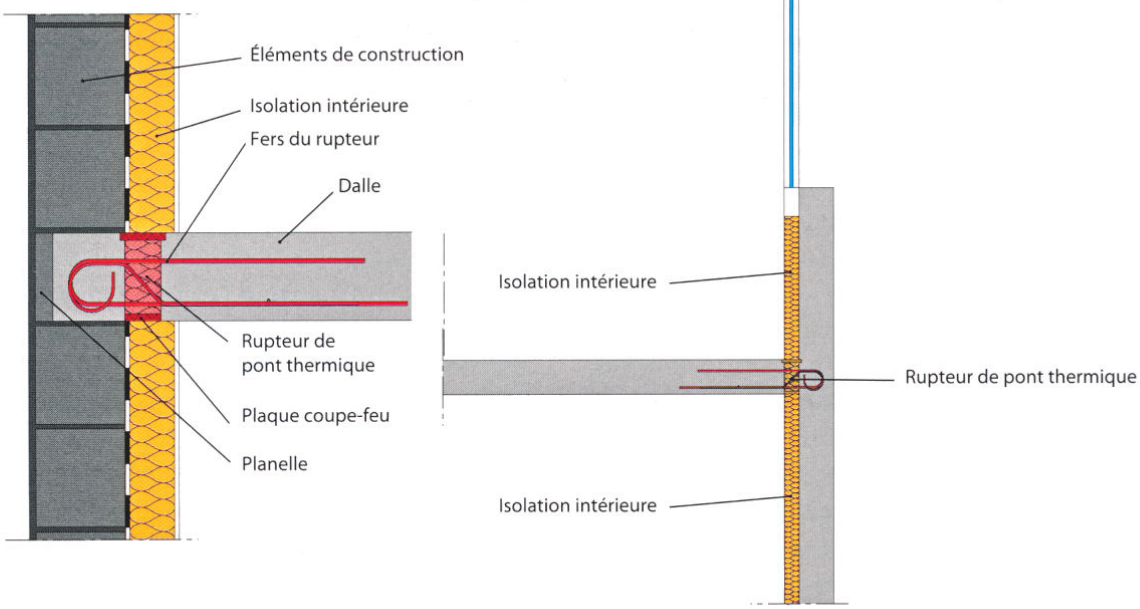


Figure 329 : L'isolation par l'intérieur et les rupteurs de ponts thermiques

une température extérieure de - 7 °C et une température intérieure de 20 °C. Le point de rosée est alors atteint dès 50 % d'humidité relative, soit un niveau moyen bas pour un logement. Les problèmes de condensation et de moisissures sont donc inévitables dans ce cas. Si le pont thermique était traité avec un rupteur, la température superficielle serait de 17 °C.
De plus, des températures superficielles basses entraînent des détériorations structurelles. La différence de température entre l'intérieur et l'extérieur entraîne des dilatations dans les matériaux, pouvant provoquer des microfissures dans le béton.

Même s'ils sont encore peu utilisés en France, il est judicieux de prévoir des rupteurs de ponts thermiques, adaptés à la majorité des cas possibles dans la construction, comme cela se pratique couramment dans de nombreux pays européens. Le procédé n'est pas nouveau, puisqu'il est apparu au début des années 1980. En France, les rupteurs de ponts thermiques peuvent bénéficier d'un Avis Technique depuis le début des années 1990.

Un rupteur de ponts thermiques associe différents matériaux pour assurer la continuité de l'isolation tout en respectant la transmission des sollicitations mécaniques des structures (figure 330). La partie isolante, d'une épaisseur de 8 cm environ, est en polystyrène expansé ou en laine de roche. Elle est traversée par des fers d'ossature en acier inoxydable, contre la corrosion, soudés de part et d'autre à des armatures en acier

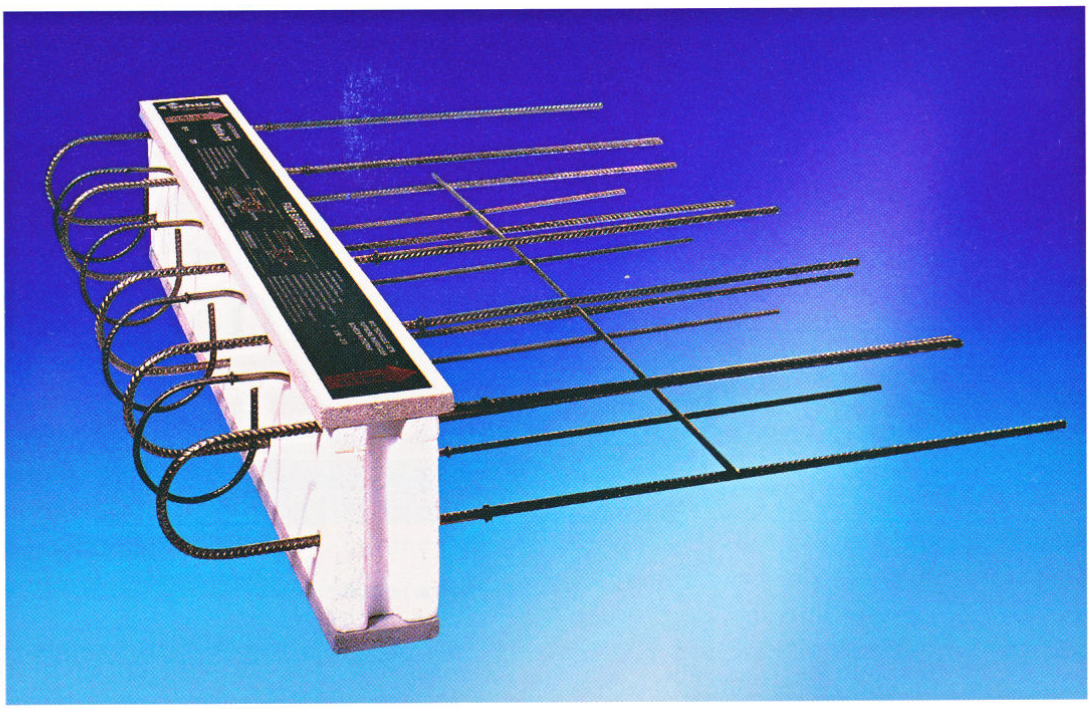

© Schoek-Rutherma

Figure 330 : Un rupteur de pont thermique pour la liaison plancher/façade en isolation par l'intérieur

Traitement des ponts thermiques avec une ITE

Utilisation de rupteurs de ponts thermiques

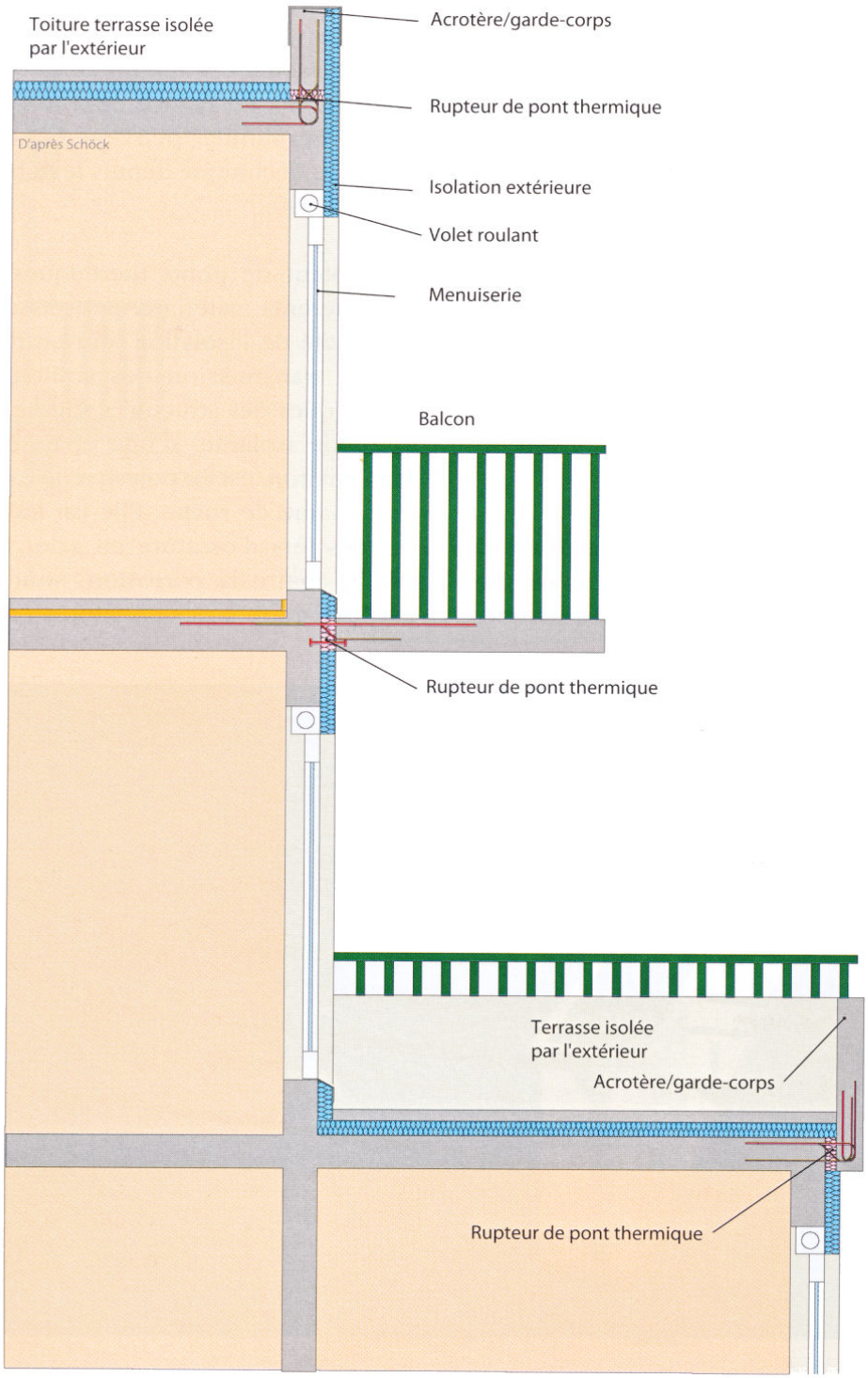


Figure 331 : L'isolation par l'extérieur et les rupteurs de ponts thermiques

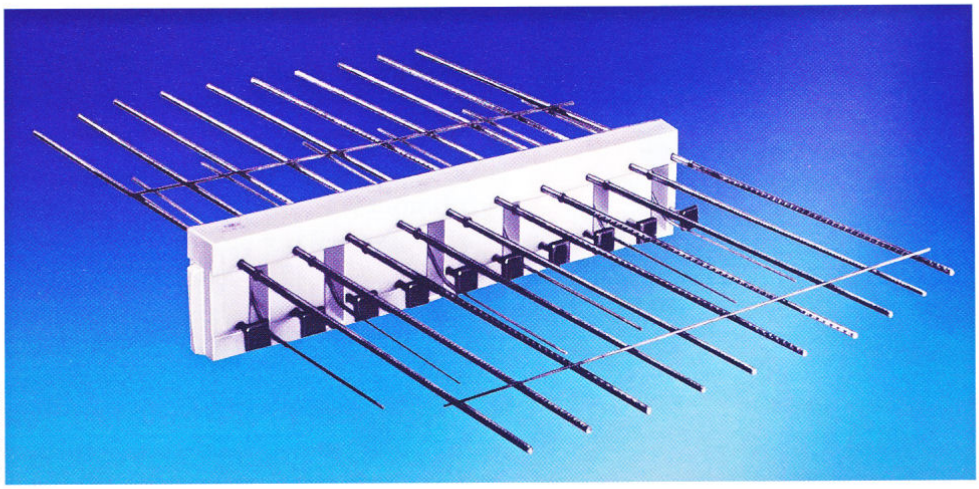


Figure 332 : Un rupteur de pont thermique pour liaison dalle/balcon

à haute adhérence. Dans les modules pour l'isolation par l'intérieur, l'isolant est protégé sur ses deux faces par une plaque coupe-feu en silico-calcaire. La résistance au feu est alors de 120 min. Pour les éléments en laine de roche, c'est l'isolant qui est résistant au feu. Du point de vue acoustique, l'élément permet de répondre aux exigences de la NRA. Les éléments ont une longueur de 1 m et sont disponibles dans plusieurs hauteurs, en fonction de l'épaisseur de la dalle.
Il existe également des rupteurs permettant de traiter la liaison façade/refend lourd en béton par exemple, qui est une source importante de ponts thermiques.
Dans le cas d'une toiture-terrasse, l'utilisation de rupteurs au niveau de l'acrotère permet de solutionner simplement ce pont thermique, difficile à traiter avec une isolation par l'intérieur.

Les rupteurs de ponts thermiques structurels sont adaptés également dans le cas d'une isolation répartie ou d'une isolation thermique par l'extérieur. En effet, quel que soit le procédé, il demeure toujours des ponts thermiques au niveau des éléments saillants comme les dalles de balcon ou les acrotères. La figure 331 présente les rupteurs de ponts thermiques adaptés à ces cas. La partie isolante du rupteur se trouve alors du côté extérieur de la maçonnerie porteuse, ce qui permettra d'assurer la continuité de l'isolation sur toute la façade.

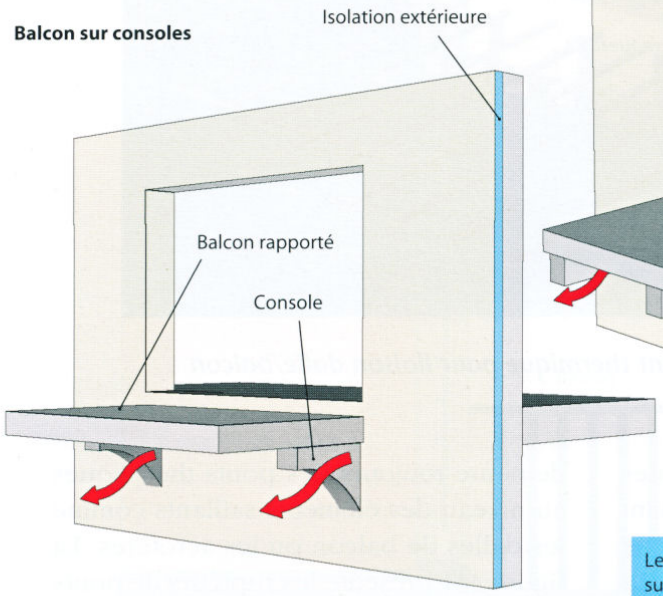
La figure 332 présente un rupteur de pont thermique pour un balcon. La coupure du flux est franche et efficace. Le principe constructif est le même que pour les autres rupteurs.

En isolation par l'extérieur, le problème des ponts thermiques de la liaison façade/balcon (figure 333) peut être traité de plusieurs façons. Il existe des rupteurs de ponts thermiques qui permettent la mise en place de consoles en béton armé, destinées à supporter un balcon en éléments préfabriqués. Les ponts thermiques se limitent alors aux consoles et il y a moins de points de contact. Le flux de chaleur est freiné par l'isolant des rupteurs.

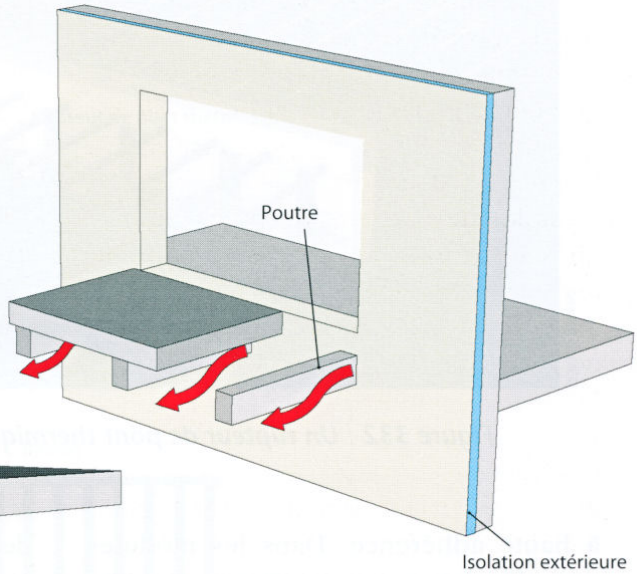
ITE et balcons

Problème des ponts thermiques

Balcon sur consoles

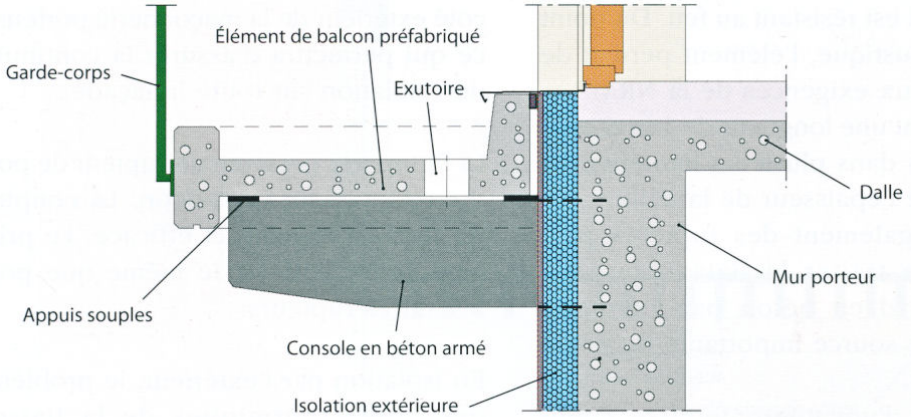


Balcon sur poutres support



Les ponts thermiques sont limités aux éléments de support (poutres ou consoles), mais ne sont pas totalement supprimés.

Vue en coupe



Principe d'un rupteur de ponts thermiques pour console

L'utilisation de rupteurs permet la continuité de l'isolation par l'extérieur et diminue les ponts thermiques.

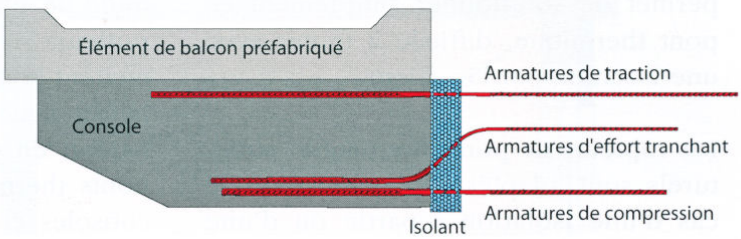


Figure 333 : L'isolation extérieure et les balcons

Selon le même procédé mais sans rupteurs, on peut diminuer la surface de contact entre le plancher intérieur et le balcon, avec des consoles ou des poutres traversantes. Néanmoins, un pont thermique persiste alors, mais qui est moindre que dans le cas d'une prolongation de la dalle de plancher.

L'emploi de rupteurs de ponts thermiques structurels nécessite une étude du ferraillage des éléments constructifs, afin d'assurer la résistance, la déformabilité et la stabilité du bâtiment (règles BAEL, Eurocodes, normes parasismiques, etc.). Le fabricant adaptera et dimensionnera ces éléments et le ferraillage, en fonction des exigences du chantier. Généralement, les fabricants prennent en charge ces études et fournissent un plan de pose.

La figure 334 illustre un exemple de mise en œuvre de rupteurs de ponts

2 On coule la dalle en béton.

© Schoek-Rutherma x 3

1 Les rupteurs de pont thermique sont installés en périphérie.

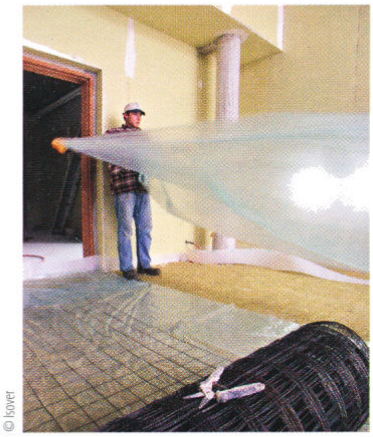
3 La dalle coulée en attente, les rupteurs affleurent.

Figure 334 : La mise en œuvre de rupteurs de ponts thermiques

thermiques pour une liaison façade/plancher, en isolation par l'intérieur avec une dalle coulée en place.
Les éléments s'emboîtent entre eux grâce à un profil à rainure et languette. Ils sont recoupables en longueur pour s'adapter aux dimensions nécessaires.

Le plancher doit être coffré en haut du mur de façade. Placez les rupteurs sur le fond de coffrage, partie isolante au nu du mur intérieur au ras du coffrage. Installez ensuite les éléments du chaînage périphérique horizontal sur les murs et dans les aciers des rupteurs. Placez une première nappe d'armature en appui sur les aciers inférieurs du rupteur, puis une seconde nappe. Procédez ensuite aux ferraillages supplémentaires éventuels, puis au coulage du béton de part et d'autre des rupteurs. Le béton doit être vibré, des deux côtés de l'isolant.

La chape flottante



Une chape flottante est une excellente solution pour obtenir une isolation thermique et acoustique performante.
On peut distinguer deux types de sols flottants : les systèmes secs et les chapes

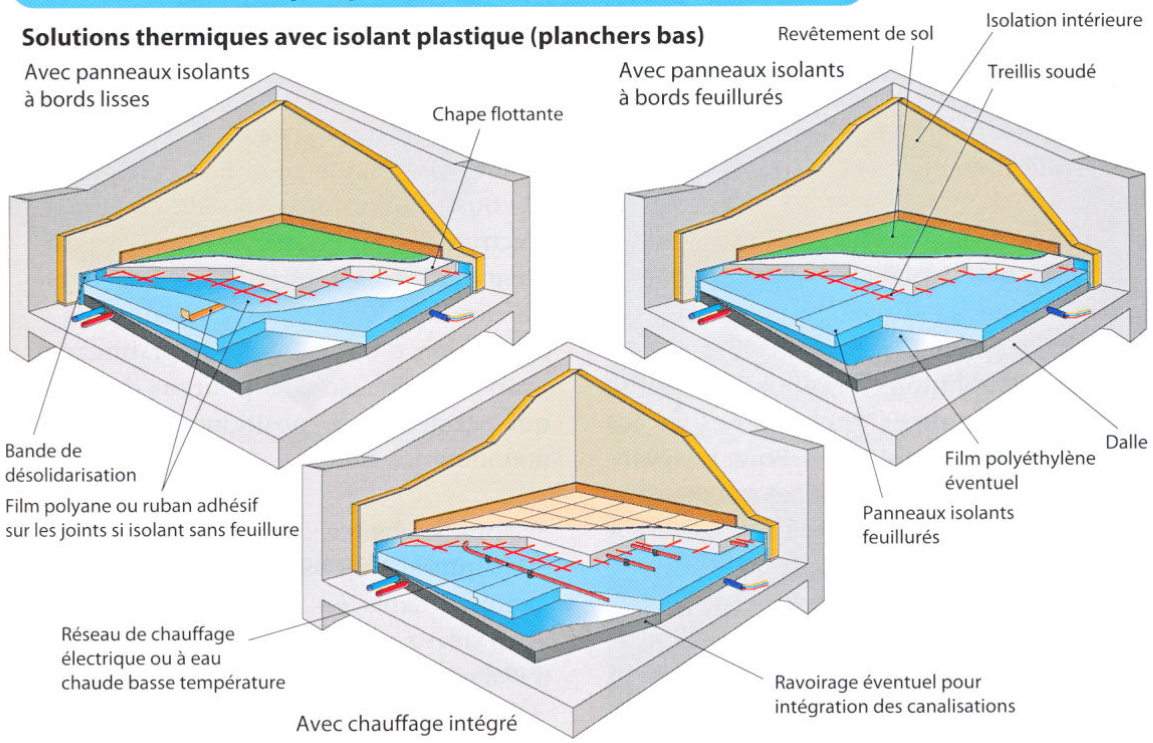
Figure 335 : Les sols flottants secs

flottantes proprement dites. La chape flottante classique consiste à mettre en œuvre une couche de mortier en respectant des règles précises. Les sols flottants ne nécessitent pas de mortier, mais des systèmes de plaques de plancher à installer sur un isolant fibreux ou des plaques de plâtre renforcées à poser sur une forme de granules. Cette solution (figure 335) est particulièrement appréciée en rénovation et pour les planchers légers, puisque les charges sont bien moindres. Elle convient aussi pour les planchers lourds. Les sols flottants sont choisis principalement pour améliorer les performances acoustiques, mais ils permettent aussi de renforcer l'isolation thermique, par exemple en les combinant avec une isolation en sous-face du plancher.

Pour réaliser un sol flottant, choisissez un isolant thermique fibreux comme de la laine de roche, de verre ou autre, d'une épaisseur de 10 à 20 mm et résistant à la compression. Placez un bandeau de désolidarisation périphérique, puis des plaques de plancher, généralement des plaques d'aggloméré CTBH, de 19 ou 22 mm d'épaisseur, bouvetées de tous

Les solutions thermiques pour une isolation sous chape flottante

Solutions thermiques avec isolant plastique (planchers bas)



Solutions thermo-acoustiques avec laine minérale (planchers d'étage)

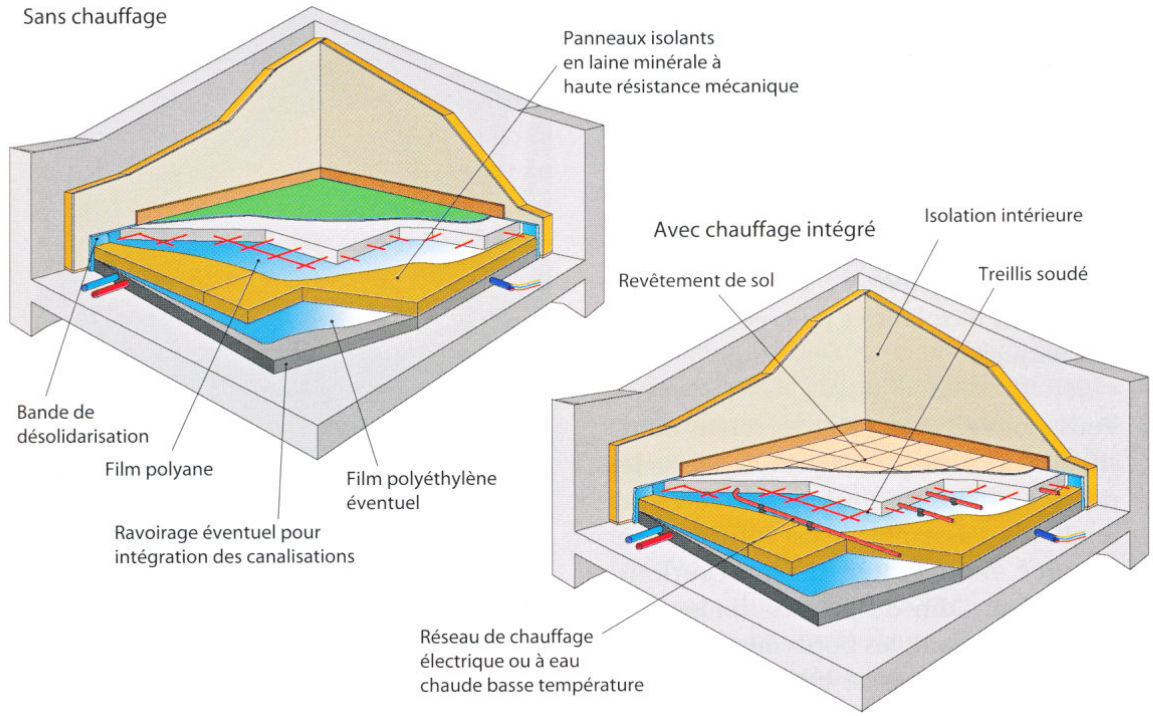


Figure 336 : Exemple de solutions thermiques pour une isolation sous chape flottante

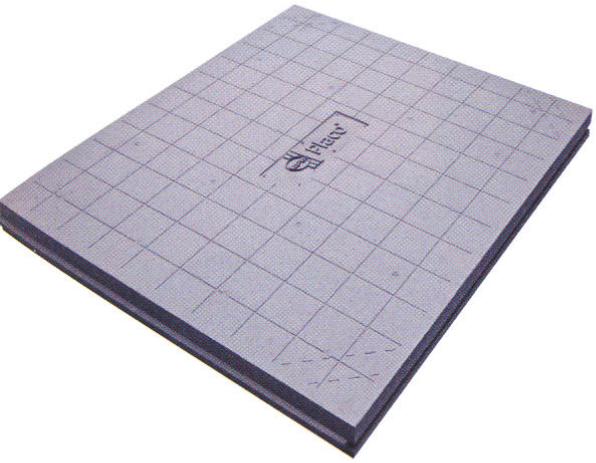
côtés pour faciliter l'assemblage. Vous pouvez éventuellement ajouter un filet de colle vinylique. Le revêtement de sol devra être souple, soit une moquette, un linoléum, un sol plastique ou un sol stratifié flottant.

En ce qui concerne les chapes flottantes, vérifiez que le plancher support est apte à supporter la surcharge engendrée. Le cas échéant, utilisez un mortier allégé. Plusieurs solutions sont possibles selon les performances recherchées et les contraintes (figure 336). Pour les planchers bas, les performances acoustiques sont peu utiles. Vous pouvez donc utiliser des isolants plastiques comme le polystyrène extrudé ou le polyuréthane.
Assurez-vous qu'aucune canalisation ne traverse la chape flottante. Pour distribuer toutes les canalisations dans une pièce, réalisez un ravoirage en béton. Il permet également de corriger les irrégularités ou le faux niveau du sol d'origine.
Posez une bande de mousse périphérique pour désolidariser la chape, puis les panneaux isolants (figure 337). Si les panneaux sont à bords droits, masquez tous les joints avec du ruban adhésif. Cette précaution permet d'éviter que la laitance du ciment ne coule entre les panneaux d'isolant et ne crée des ponts thermiques.

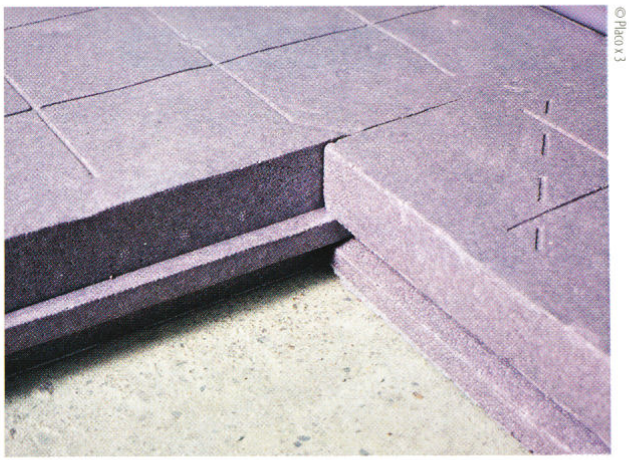
Vous pouvez remplacer le ruban adhésif par un film de polyéthylène. Si les panneaux d'isolant sont bouvetés ou feuillurés, l'assemblage est suffisamment efficace pour éviter ces précautions. Cependant, afin de ne pas diminuer la hauteur d'isolant, les bords des panneaux doivent être droits le long de la bande périphérique. Il faut donc découper les feuillures ou les languettes. Le bord rainuré d'une plaque se trouve donc du côté de la pièce pour permettre l'emboîtement des autres panneaux.
Dans le cas d'un système de plancher rayonnant électrique ou basse température à circulation d'eau, choisissez des panneaux isolants adaptés (figure 338). Si vous utilisez un treillis de chauffage électrique, vous pouvez le poser directement sur l'isolant en le fixant au moyen de cavaliers. Pour les sols chauffants à circulation d'eau chaude, les fabricants proposent des isolants pourvus de plots qui permettent le positionnement et le maintien des tubes.

Si vous souhaitez créer une chape flottante thermo-acoustique avec des panneaux isolants en plastique alvéolaire, vous devez poser une première couche d'isolant fibreux. Cependant, la solution

Figure 337 : Exemple de mise en œuvre de panneaux isolants et de la bande de désolidarisation périphérique

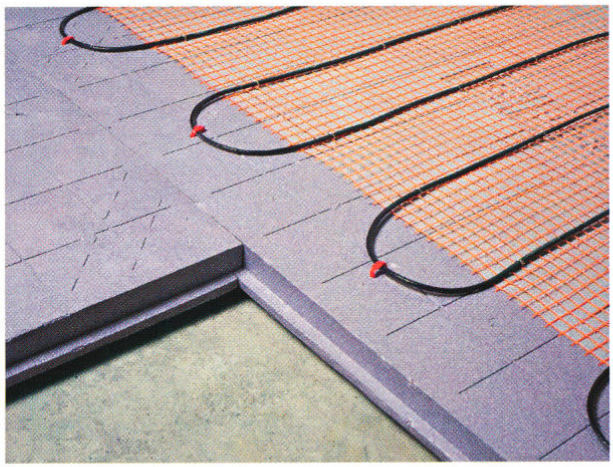


1 Exemple de panneau isolant pour plancher rayonnant électrique



© Placo x 3

2 Exemple de panneaux bouvetés évitant la pénétration des laitances de ciment



3 La fixation des éléments de chauffage sur l'isolant avec des cavaliers

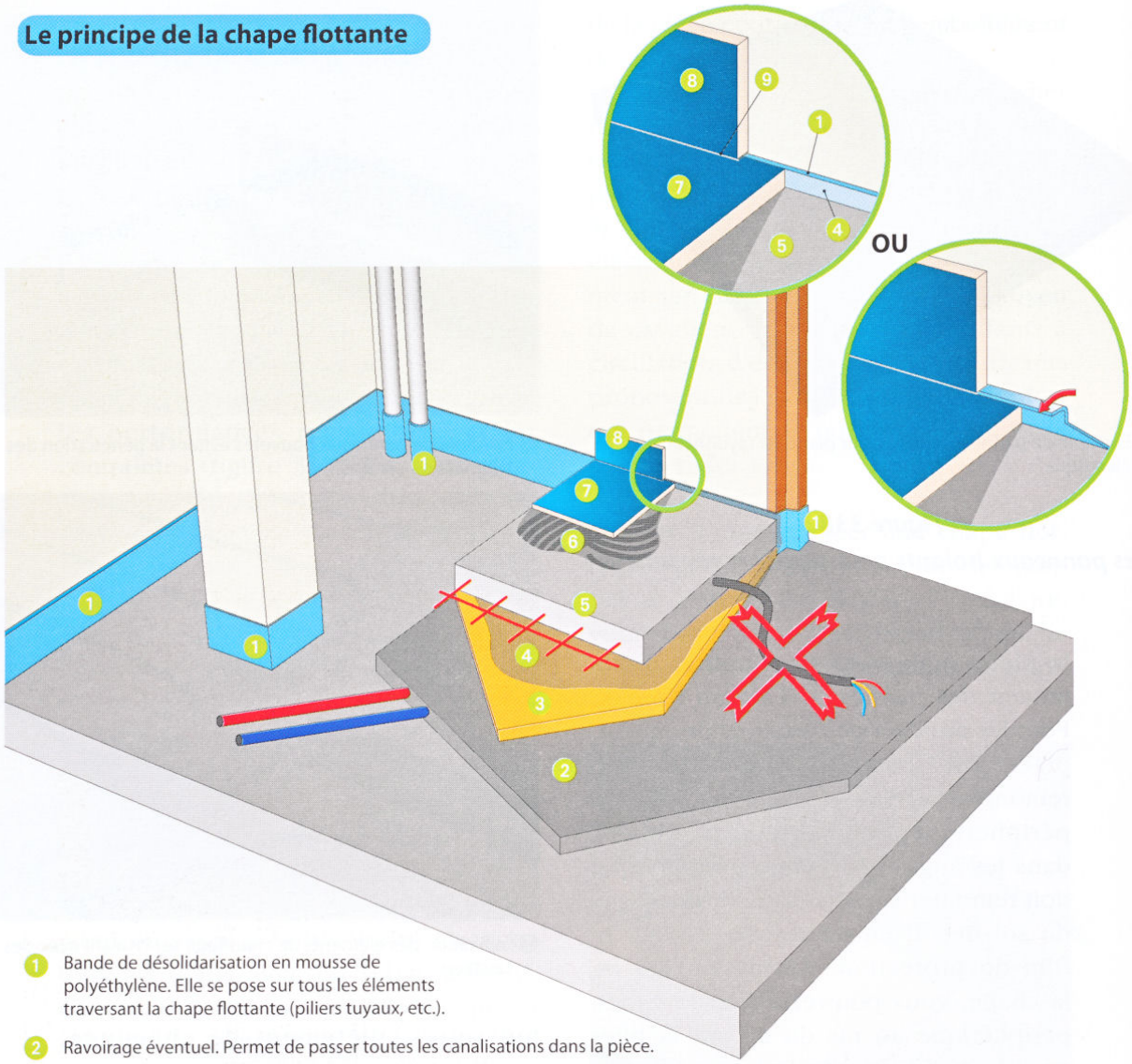
Figure 338 :
Les panneaux isolants pour plancher rayonnant

la plus simple consiste à utiliser directement des panneaux d'isolant fibreux. Pour les protéger des laitances de ciment, placez un film de polyéthylène, avec remontées latérales le long de la bande périphérique, soigneusement repliées dans les angles. La bande périphérique doit remonter au-delà de 2 cm au-dessus du sol fini. Il en est de même pour le film de protection. Après coulage de la chape, vous pourrez araser la bande périphérique au ras du sol ou la plier pour la masquer sous la future plinthe. La désolidarisation sera ainsi parfaite.

Généralement, on arme la dalle d'un treillis métallique ou on ajoute des fibres. Son épaisseur ne doit pas être inférieure à 4,5 cm, sans toutefois excéder 6 cm.
La figure 339 illustre en détail tous les points à prendre en compte pour la réalisation d'une chape flottante. Notez bien que la désolidarisation doit se faire avec les parois, mais aussi avec tous les éléments entraînant un changement de plan : piliers, tuyauteries traversantes, huisseries, piètement de cheminée, escalier, etc.
De même, veillez que les plinthes ne touchent pas la chape flottante. Ménagez un interstice que vous comblerez avec un mastic souple et éventuellement étanche, notamment si le sol est carrelé.

Les étapes de mise en œuvre sont les suivantes (figure 340). Commencez par la pose de la bande isolante de désolidarisation périphérique, en mousse de polyéthylène ou autre. Si la chape flottante ne concerne qu'une pièce, continuez la pose de la bande au niveau du passage

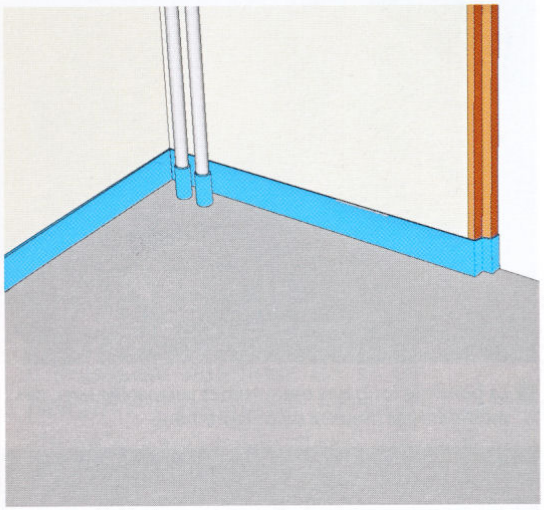
Le principe de la chape flottante



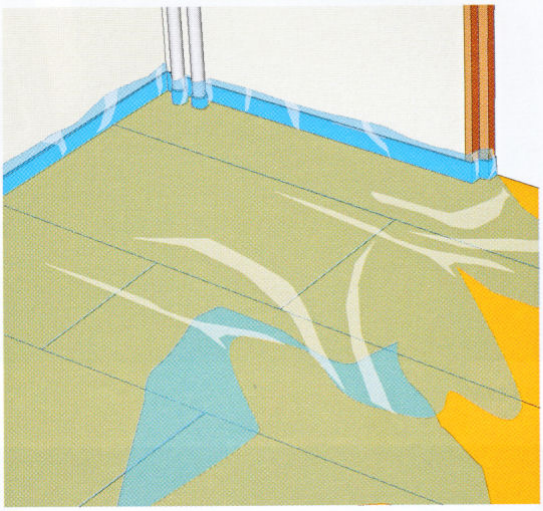
1. Bande de désolidarisation en mousse de polyéthylène. Elle se pose sur tous les éléments traversant la chape flottante (piliers tuyaux, etc.).
2. Ravoirage éventuel. Permet de passer toutes les canalisations dans la pièce.
3. Panneaux d'isolant. L'isolant doit être une laine minérale si l'on recherche des propriétés d'isolation acoustique. Il peut être du type polystyrène extrudé ou polyuréthane en cas d'isolation thermique uniquement. L'isolant doit être incompressible.
4. Film plastique. Il est obligatoire sur les isolants fibreux ou plastiques s'ils ne sont pas feuillurés. La feuille est remontée sur le mur et peut être arasée au niveau du sol fini ou remonter de 2 cm derrière la plinthe pour assurer l'étanchéité (vignette).
5. Chape flottante. Aucune canalisation ne doit cheminer dans la chape. Elle est communément d'une épaisseur de 5 ou 6 cm, sans être inférieure à 4,5 cm localement. Elle est armée d'un treillis soudé de mailles ≤ 100 mm ou de fibres de polypropylène bénéficiant d'un avis technique.
6. Colle du revêtement de sol (un carrelage, dans notre exemple).
7. Revêtement de sol.
8. Plinthe. La plinthe ne touche pas le carrelage (pour éviter la transmission des bruits). Un espace d'épaisseur de joint sera réservé.
9. L'espace entre le sol fini et la plinthe est comblé par un joint de mastic souple étanche (pièces carrelées).

Figure 339 : Les règles de la chape flottante

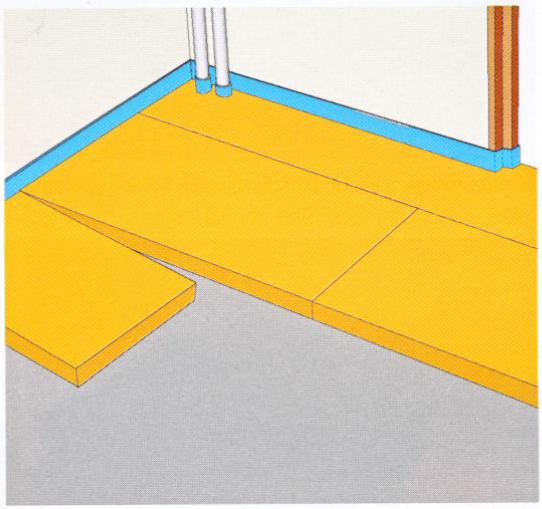
Réalisation d'une chape flottante



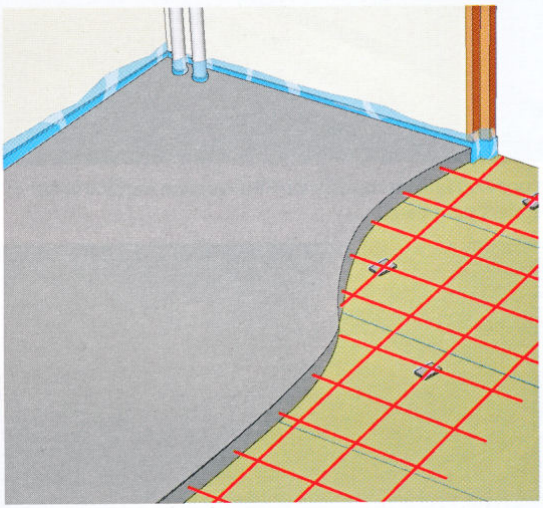
1 - *Placez une bande de désolidarisation sur tout le pourtour de la pièce. Pensez également à enrober tout élément qui traversera la dalle flottante (tuyaux, par exemple). Coulez préalablement un ravoirage si vous avez besoin d'installer des canalisations.*



3 - *Selon le type de panneaux isolants utilisés et le type de chape choisie, il peut être nécessaire d'assurer l'étanchéité entre panneaux par du ruban adhésif ou de placer une feuille de polyéthylène qui doit remonter sur les parois. Il sera arasé au niveau du sol fini après la pose du revêtement.*



2 - *Mettez en place les panneaux d'isolant en partant d'un angle d'équerre. Sinon, découpez les premiers panneaux pour partir d'équerre. Les panneaux se posent à joints décalés. Ils doivent être posés parfaitement jointifs. En cas de plancher chauffant, utilisez un isolant adapté, préconisé par le fabricant.*

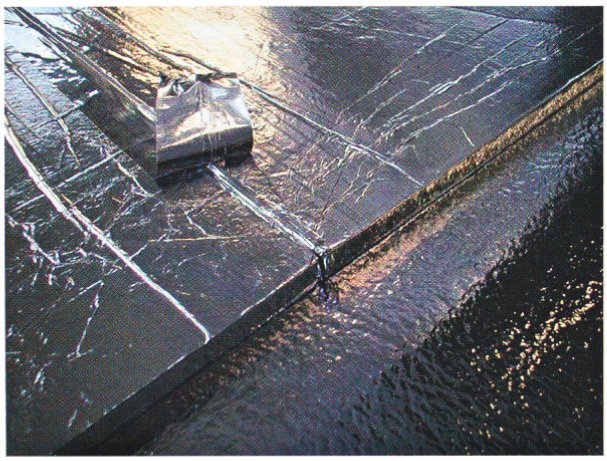


4 - *Installez un treillis soudé sur des cales. Coulez votre chape selon les règles de l'art. Vous pouvez également utiliser des fibres de polypropylène en remplacement du treillis. Après séchage, posez le revêtement de sol et arasez la bande de désolidarisation à hauteur du sol fini.*

Figure 340 : La réalisation d'une chape flottante

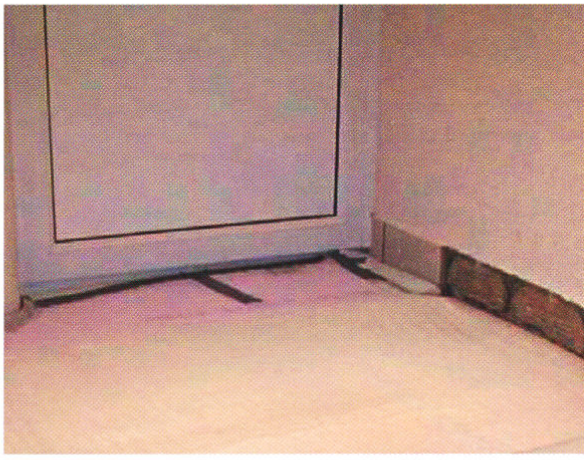
1 Le sol avant la pose.

2 On pose un film de mousse de PE avec pare-vapeur et les premiers panneaux.



3 Les joints sont réalisés avec un adhésif aluminium.

4 La bande le long des menuiseries sera isolée avec des panneaux de mousse de polyuréthane.



5 On protège avec un film de mousse de polyéthylène.

6 On protège avec une feuille de PE avant le coulage de la chape.

© Va-Q-Tec x 6

Figure 341 : Exemple d'isolation d'un sol avec des PIV

de la porte, afin de désolidariser également la chape du sol existant. Pour la masquer, vous utiliserez une barre de seuil autocollante. Posez les panneaux isolants. Découpez-les à bord droit, le cas échéant, le long des parois verticales et le long de tous les changements de plan. Posez le second rang à joints décalés. Lorsque l'intégralité de la surface du sol est couverte, placez le film polyéthylène si nécessaire. Si le film n'est pas suffisamment grand, faites chevaucher les lés sur une largeur minimale de 10 cm.
Installez l'armature métallique de la chape sur des cales. Enfin, procédez au coulage de la chape.

La figure 341 présente la réalisation d'une chape flottante, avec des PIV. Il ne s'agit pas à proprement parler d'une chape flottante, puisqu'il manque la bande périphérique de désolidarisation, néanmoins, elle aurait très bien pu être prévue. Dans l'exemple donné, le but est une isolation purement thermique d'un jardin d'hiver, avec le minimum d'épaisseur d'isolant. Cette installation, réalisée en Bavière, utilise des PIV de 1000 x 500 mm.
Le sol existant a été laissé en l'état puisqu'il présentait un bon état de surface et parce que la faible épaisseur des PIV permettait de le conserver. Une feuille de mousse en PE avec pare-vapeur aluminisé a été posée directement sur le carrelage, ce qui permet également d'égaliser les petits défauts. Les PIV sont installés bord à bord sur le film et solidarisés avec du ruban adhésif en aluminium. Dans les zones où il n'est pas possible de poser des PIV, on a utilisé des panneaux en mousse de polyuréthane. Le sol a reçu une nouvelle mousse de PE comme protection, puis un film polyéthylène d'étanchéité avant le coulage de la chape.

Les solutions de rénovation

© Isover

Les solutions thermo-acoustiques sont intéressantes en rénovation, notamment quand les planchers support n'offrent pas une planéité ou un niveau corrects. Deux procédés de mise en œuvre sont présentés dans les paragraphes qui suivent : le plancher surélevé et la chape sèche sur forme de granules. Il en existe d'autres, aux règles de mise en œuvre proches. Reportez-vous aux instructions de pose du fabricant ou aux Avis Techniques concernant le système choisi.

Le système de plancher surélevé se compose de divers éléments : des dalles de panneaux de particules, des pieds distanceurs et un isolant. Les panneaux CTBH, d'une dimension de 1 000 x 600 mm, ont une épaisseur de 30 mm, ils sont bouvetés sur leurs quatre rives et percés de dix trous destinés à recevoir les pieds.
Les pieds distanceurs (figure 342) sont disponibles dans plusieurs hauteurs, en fonction de l'épaisseur de l'isolant à mettre en œuvre. Leur réglage s'effectue par le haut, au-dessus des dalles. Chaque pied, muni d'une rotule, s'emboîte sur une base résiliente. Cette dernière permet le découplage acoustique du

Figure 342 :
Les pieds distanceurs

plancher par rapport au support, ce qui empêche par conséquent la transmission des bruits d'impact.

Pour l'isolation, utilisez des panneaux de laine de verre de même dimension que les panneaux de particules disponibles dans des épaisseurs de 20 à 100 mm.
D'autres accessoires sont nécessaires pour la mise en œuvre, comme des rouleaux de mousse résiliente adhésive, destinés à désolidariser le plancher surélevé des parois verticales (murs, piliers...), comme pour une chape flottante. Des bouchons spécifiques permettent d'occulter les percements des dalles une fois les réglages effectués.

Ce système thermo-acoustique est valable sur tout type de plancher : en bois avec lames ou plaques de sol, dalle béton, chape sur terre-plein ou sur hourdis. Cependant, le plancher support doit pouvoir supporter le poids du plancher surélevé (30 kg/m^2), plus la charge d'exploitation. Le système admet lui-même des charges réparties de 320 daN/m^2. Les revêtements de sol possibles sont les moquettes en dalles ou en rouleaux, les revêtements de sol plastiques et les parquets massifs ou stratifiés.

Avant de commencer la pose, il est nécessaire de réaliser un calepinage. En effet, si les panneaux des zones courantes reposent sur quatre pieds répartis (figure 343), il n'en est pas de même pour ceux qui sont situés le long des parois verticales. Pour adapter les panneaux à la surface de la pièce, évitez de répartir les coupes de chaque côté. Utilisez des plaques de la plus grande taille possible. En effet, il est préférable d'effectuer une seule coupe que de réaliser deux coupes plus petites et réparties.
Alignez les pieds des panneaux des zones courantes sur le même axe, dans la longueur et la largeur de la pièce.
Posez les panneaux à coupe de pierre : les joints de la rangée successive doivent être alignés sur l'axe central des plaques précédentes.

Détails constructifs d'un surplancher

(Source Isover)

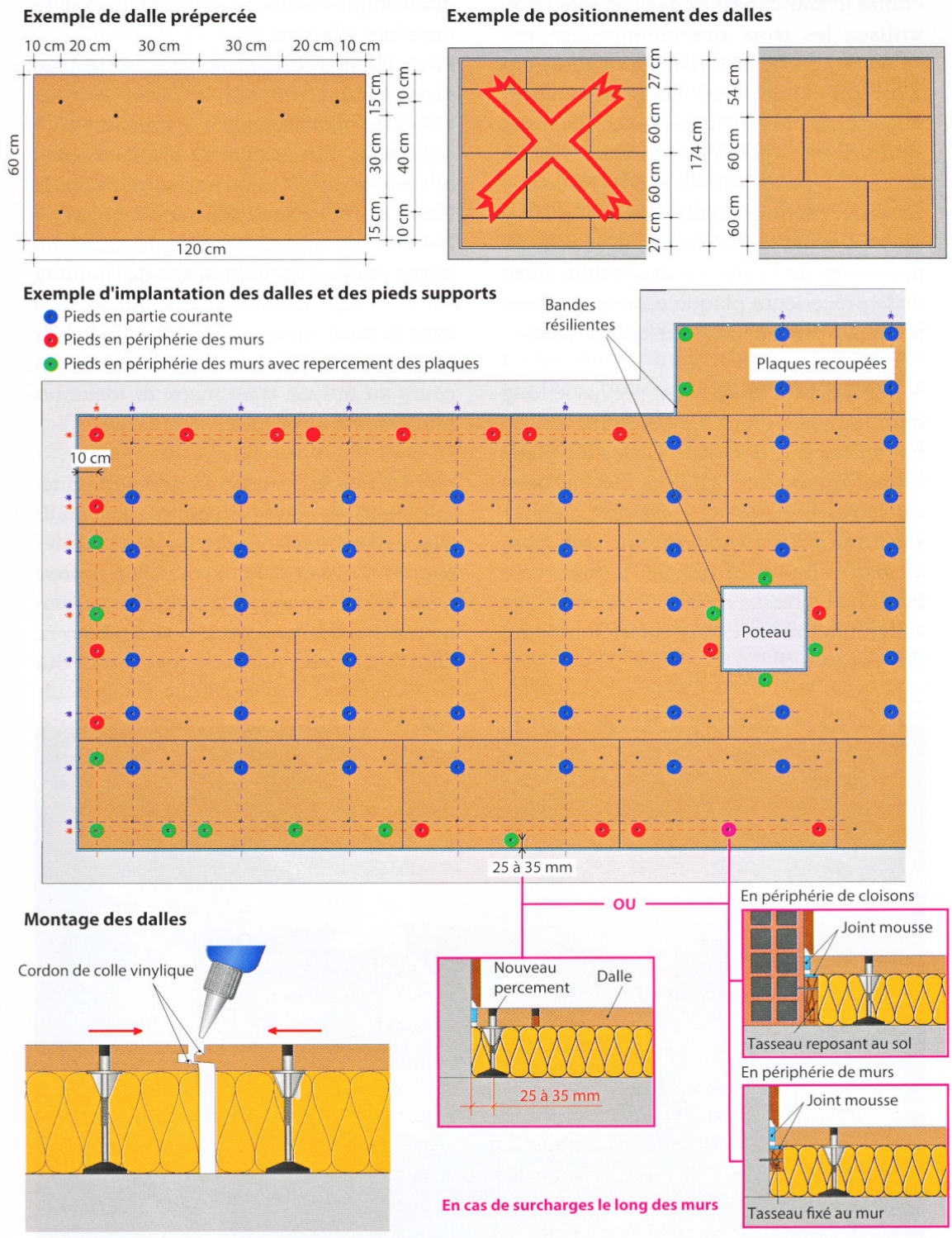


Figure 343 : Les détails constructifs d'un sur-plancher

Pour les panneaux non recoupés, situés contre le mur dans le sens de la longueur, utilisez les trois percements latéraux situés à 10 cm. Les panneaux reposent ainsi sur cinq pieds. Dans les angles, utilisez en plus les percements latéraux situés sur la largeur des panneaux afin de les faire reposer sur six pieds. Pour installer des plaques recoupées, pratiquez-y de nouveaux percements, à 10 cm au maximum de la rive et situés dans l'axe de la précédente plaque entière. Le demi panneau repose ainsi sur quatre pieds.

Si des meubles lourds sont prévus le long d'un mur, renforcez les supports afin de limiter le porte-à-faux. Décalez les pieds à une distance de 25 à 35 mm du bord ou faites reposer le bord des plaques sur un tasseau d'appui ou une cale fixée au mur. Appliquez obligatoirement une bande de mousse résiliente entre la face supérieure du tasseau et la face inférieure des plaques.

Vous pouvez distribuer les réseaux domestiques sous le système, avant la pose des plaques.

Pour la mise en œuvre, le calepinage étant défini, repérez le point le plus haut du plancher, puis tracez un trait de niveau tout autour de la pièce selon le niveau du surplancher surélevé, à la limite du bord supérieur des plaques.

Installez la première plaque dans un angle. Collez de la bande de mousse sur les côtés destinés à être en contact avec le mur. Après avoir retiré les bases résilientes, enfoncez les pieds distanceurs au moyen d'un marteau, dans les percements appropriés des dalles.

Embrochez les panneaux de laine minérale, sans les comprimer, sur les pieds (figure 344), puis clipsez les bases sur les rotules des pieds. Retournez le panneau pour le mettre en place. Réglez-le pour qu'il soit parfaitement de niveau. Pour ce faire, utilisez les réglages des pieds. Pour

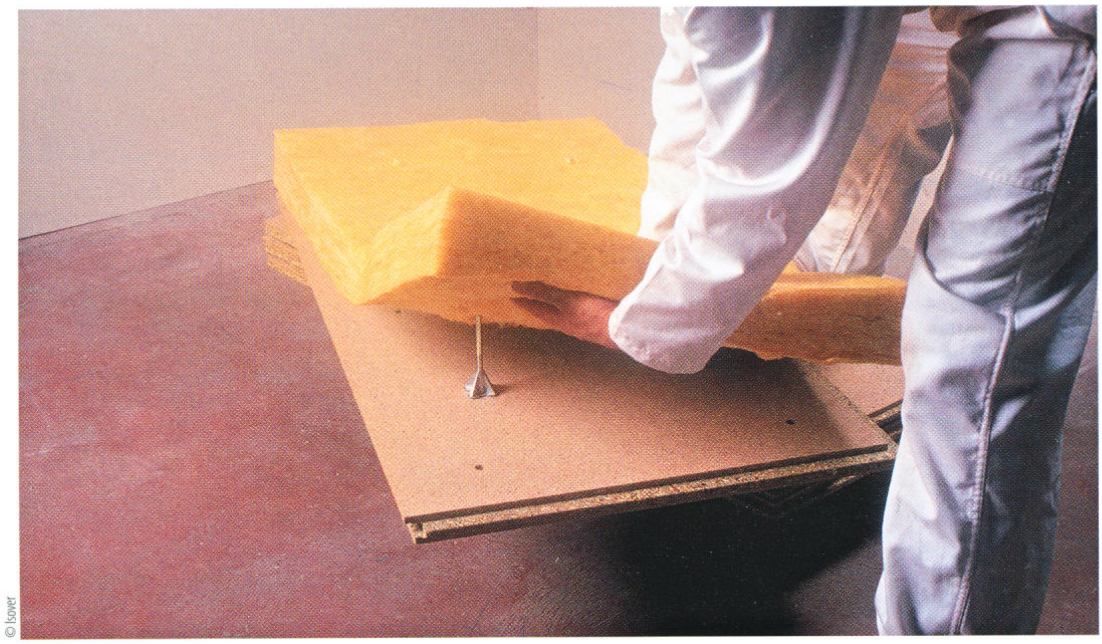


Figure 344 : L'embrochage de la laine minérale dans les plaques

solidariser la dalle suivante, encollez le fond de la rainure du panneau précédent et le haut de la languette du panneau suivant avec de la colle vinylique, puis emboîtez-les. Poursuivez la pose de la même manière. Commencez la deuxième rangée par une demi plaque, dans laquelle vous aurez réalisé éventuellement de nouveaux percements. Après montage, lorsque la colle est sèche, vérifiez la parfaite planéité de l'ensemble et effectuez éventuellement les derniers réglages. Comblez ensuite les trous avec les obturateurs. Attendez 24 heures avant de poser le revêtement de sol.

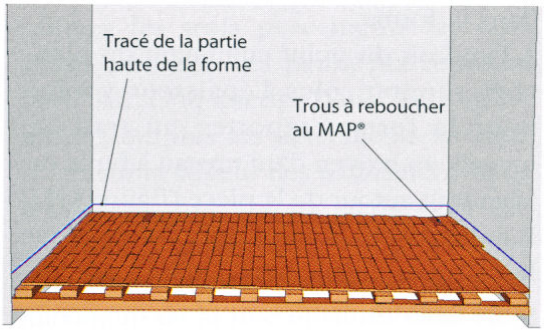
Le système de chape sèche avec forme de granules est adapté à tout type de plancher support continu stable et sec. Il nécessite rarement de renforcer les structures, le surpoids engendré étant peu important : par exemple 60 kg/m² pour une chape sèche de 6 cm d'épaisseur.
Les systèmes de chape sèche peuvent différer en fonction des fabricants. Le procédé présenté se compose de plaques de plâtre haute dureté traitées contre l'humidité de 1,95 x 0,56 m, d'une épaisseur de 12,5 mm et d'un poids de 13 kg/m². La forme d'égalisation est composée de granules. Il faut également de la colle, des règles d'égalisation et du mastic souple. Les granules peuvent être en argile expansée ou en roche volcanique, incompressibles, imputrescibles et insensibles à l'humidification.

Prévoyez une épaisseur d'égalisation comprise entre 2 et 20 cm, avec une moyenne de 15 cm. Si le plancher porteur présente des trous ou des fentes, rebouchez-les afin d'éviter les fuites de granules. S'il y a un risque de remontées d'humidité, posez un film de polyéthylène avec recouvrement entre les lés de 20 cm, au minimum. Vous pouvez faire passer les réseaux domestiques dans la forme.
À l'endroit du point culminant du plancher support, plus l'épaisseur voulue pour la forme, reportez un trait de niveau, au moyen d'un niveau à bulle ou laser tout autour de la pièce (figure 345). Il indiquera la hauteur de la forme. Pour le marquer visiblement, utilisez un cordeau traceur.

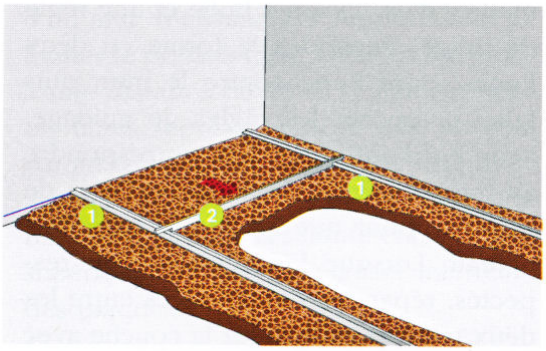
Commencez la mise en œuvre de la forme dans l'angle opposé à l'entrée de la pièce. Utilisez deux règles de guidage munies d'un niveau à bulle et une règle de tirage. Répandez la forme en deux lignes, dont l'une contre le mur, puis faites-y reposer les règles de guidage. Leur bord inférieur doit correspondre au trait de niveau. Égalisez les talus de granules pour que les règles soient de niveau. Lorsque les niveaux sont respectés, répandez des granules entre les deux talus, puis égalisez la couche avec la règle de tirage en la faisant coulisser sur les deux règles de guidage. Procédez par étapes successives de 50 cm environ. Après le passage de la règle, égalisez la couche avec un platoir, notamment au niveau des rives, en ajoutant ou en retirant des granules. Répandez à nouveau des granules devant la règle de tirage et répétez l'opération. Il ne faut pas damer la forme. Lorsque le volume entre les deux règles est rempli, déplacez la première règle pour l'installer sur un autre talus de granules. Continuez ainsi pour toute la surface de la pièce.

Pour pouvoir circuler sur la forme, disposez des pas japonais au moyen de morceaux de plaques de plâtre découpées d'une taille de 0,50 x 0,50 m au moins. En commençant dans un angle, posez un

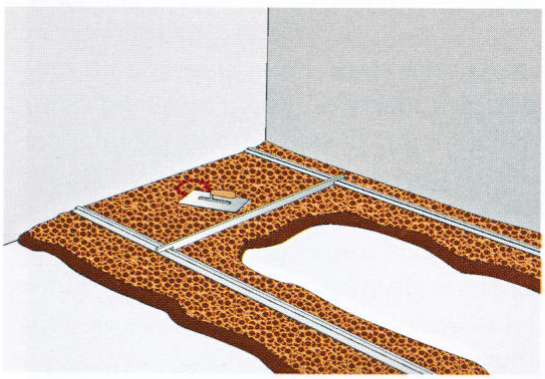
Mise en œuvre d'une chape sèche sur forme (D'après Placo®)



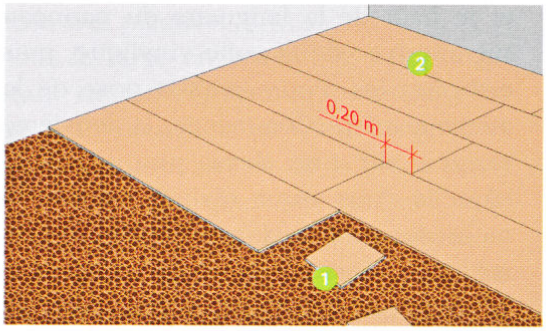
1 - *Repérez le point le plus haut du sol existant. Il doit être recouvert au minimum de 2 cm de granules. Tracez ensuite la hauteur de forme désirée sans excéder 15 cm en moyenne. Rebouchez les trous éventuels du sol.*



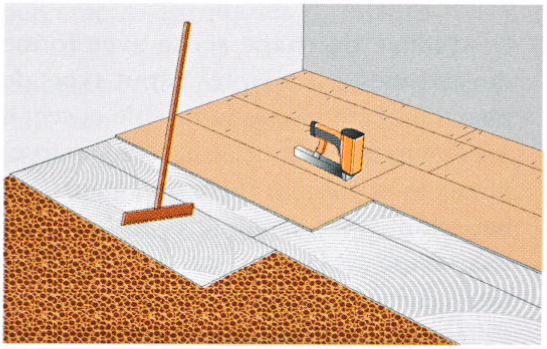
2 - *Disposez les règles de guidage, parallèles et de niveau, sur deux remblais de granules 1. Étalez des granules devant la règle de tirage 2, puis réglez la hauteur en tirant la règle vers vous.*



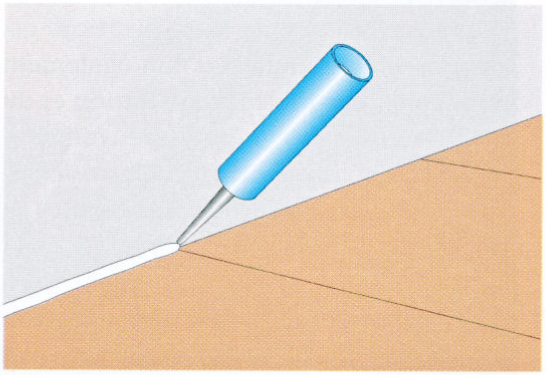
3 - *Procédez par tranches de 50 cm environ. Terminez la zone en la rectifiant avec un platoir (finition des rives, rajout ou enlèvement de l'excédent de granules).*



4 - *La forme terminée, placez des chutes de plaques pour marcher dessus 1. Posez le premier lit de plaques 2 (débutez dans l'angle opposé à l'entrée) à joints décalés d'au moins 20 cm. Réservez un espace de 5 mm le long des murs, autour des piliers et des tuyaux.*



5 - *Posez le second lit de plaques à l'avancement (perpendiculairement ou parallèlement au premier en décalant les joints d'au moins 20 cm). Encollez le premier lit, posez les plaques du second et agrafez-les.*



6 - *Calfeutrez l'espace de 5 mm laissé le long des murs et autour des tuyaux avec un mastic souple. Il évitera la transmission des bruits et assurera l'étanchéité du sol.*

Figure 345 : La mise en œuvre d'une chape sèche sur forme

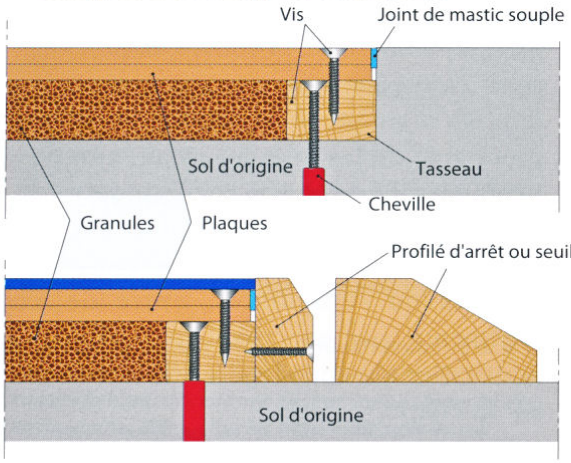
premier rang de plaques. Utilisez éventuellement des cales pour les maintenir à 5 mm des murs, de tout changement de plan et des découpes, comme les traversées de tuyauteries. Pour le rang de plaques suivant, décalez les joints de 20 cm au moins. De même, ne réutilisez pas de chutes de plaque d'une largeur inférieure à 20 cm. Après l'installation de quelques rangs, effectuez la pose de la seconde couche, à l'avancement. Encollez la première couche avec une raclette crantée en caoutchouc. Les plaques de la seconde couche peuvent être parallèles ou perpendiculaires à la première. Elles ne doivent pas non plus toucher les parois et doivent être à joints décalés entre elles et par rapport à la première couche, d'au moins 20 cm. Pour le maintien et le serrage des plaques pendant la prise de la colle, agrafez-les avec des agrafes de 26 mm au minimum ou clouez-les avec des pointes tête homme de 35 mm, plantées en biais dans un sens, puis dans l'autre. Prévoyez huit fixations par plaque. Continuez de la même manière pour toute la pièce. Évitez de circuler sur le sol pendant les 12 heures qui suivent au moins.
Ensuite, réalisez l'étanchéité de l'espace entre les plaques et les murs au moyen d'un mastic souple.

Tous les types de revêtements de sol conviennent sur une chape sèche : carrelages, parquets collés, sols flottants, moquette ou revêtements plastiques... Dans le cas d'un carrelage, il faut toutefois réaliser une étanchéité avec remontée périphérique le long des murs (figure 346). Marouflez une bande d'étanchéité à la jonction du sol et du plancher, au moment de l'application de la première couche du produit d'étanchéité. Après séchage, appliquez une seconde couche.
Si les murs de la pièce doivent être isolés thermiquement, la pose des doublages peut intervenir avant ou après la réalisation de la chape sèche. Toutefois, il est préférable de les installer avant, afin de bénéficier d'une isolation continue.
Effectuez le cloisonnement avant la chape, surtout s'il s'agit de cloisons lourdes ou séparatives, entre deux logements, par exemple. Vous pouvez réaliser les cloisons légères directement sur la chape.

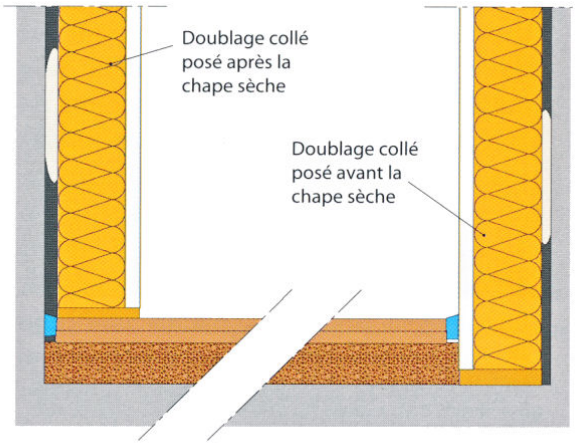
À l'entrée de la pièce, la chape est interrompue. Réalisez alors un arrêt en fixant un tasseau en bois au sol, d'une épaisseur correspondant à celle de la forme de granules. Vissez-y l'extrémité des plaques de sol en prenant soin de ménager un joint que vous comblerez avec du mastic souple. S'il y a un changement de niveau, installez un profilé ou un arrêt de seuil sur le tasseau.
Dans une salle de bains, recouvrez l'intégralité du sol avec le revêtement plastique ou céramique, y compris sous les appareils sanitaires. Sous les éléments lourds comme les baignoires, installez au préalable, sous chaque pieds des plaques de répartition en contreplaqué marine de 10 mm d'épaisseur et de 15 cm de côté. Surélevez les receveurs de douche et choisissez des siphons à sortie horizontale. Attention, les siphons de sol ne sont pas autorisés dans les chapes sèches.
La fixation des appareils sanitaires s'effectue directement dans le plancher support ou, en cas d'impossibilité, dans les plaques de plâtre. Afin d'éviter les infiltrations, réalisez un joint de mastic d'étanchéité partout où ont été effectués des percements.

Détails constructifs d'une chape sèche sur forme

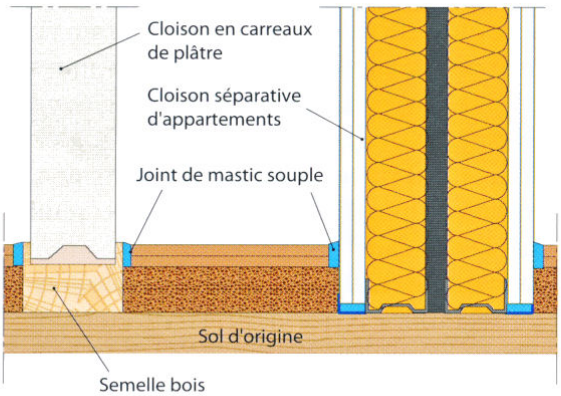
Changement de support ou de pièce



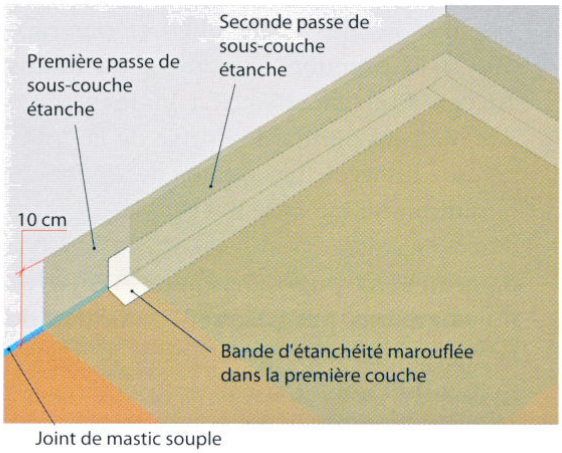
Isolation par doublages



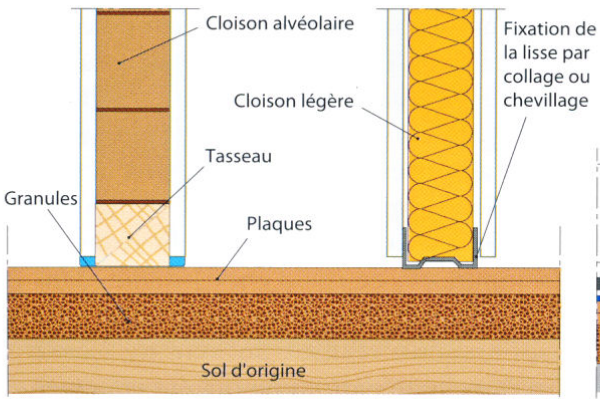
Cloison lourde ou isophonique renforcée



Étanchéité des pièces humides



Cloison légère



Appareils sanitaires

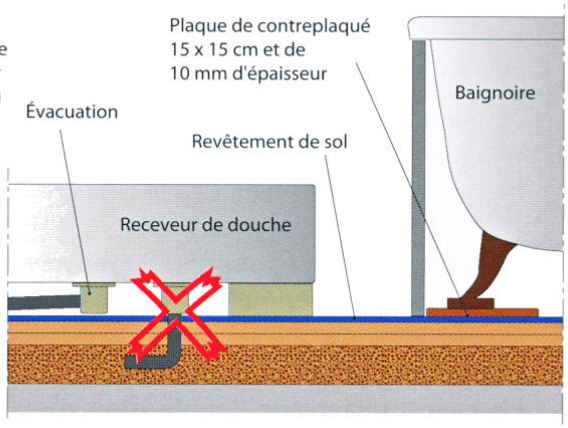
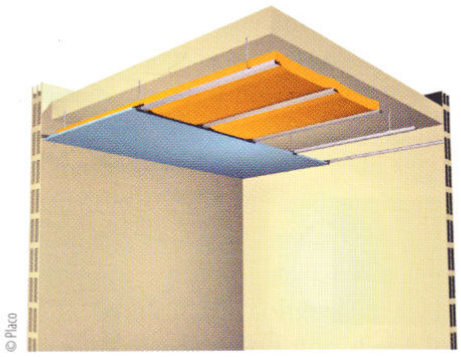


Figure 346 : Les détails constructifs d'une chape sèche sur forme

L'isolation en sous-face

Le procédé d'isolation en sous-face le plus utilisé dans l'habitat individuel est le plafond rapporté. Il présente l'avantage d'offrir une surface finie prête à recevoir la décoration. Cependant, d'autres systèmes existent, moins courants, pour les planchers lourds. Ils consistent à fixer directement des éléments isolants. L'état de surface fini est brut et convient pour le sous-sol ou le garage. Sous forme de panneaux, ces isolants sont généralement fixés mécaniquement.

Les faux-plafonds



Un plafond rapporté est une solution simple et esthétique pour isoler thermiquement et phoniquement la sous-face d'un plancher. En rénovation, c'est aussi un excellent moyen pour dissimuler les canalisations des réseaux domestiques. Dans le cas de constructions neuves avec toitures en fermettes, il remplace le plancher haut et permet la réalisation de l'isolation thermique. Il offre l'étanchéité à l'air, mais pas à la vapeur d'eau. La mise en œuvre doit être conforme au DTU 25.41 - Norme française « NF P 72-203-1 *Travaux du bâtiment – Ouvrages en plaques de parement en plâtre – Plaques à faces cartonnées* ».

De nombreux systèmes de plafonds rapportés sont proposés par les fabricants : absorbants acoustiques, démontables ou non, décoratifs, pare-feu ou plafond rayonnant électrique (PRE). C'est pourquoi seuls les plafonds rapportés traditionnels seront abordés. Pour les autres systèmes, reportez-vous aux indications du fabricant.
Le matériel nécessaire est un isolant en rouleau avec pare-vapeur ou un isolant plus un pare-vapeur rapporté en film, des plaques de plâtre, des profilés métalliques, ou fourrures, et des suspentes. Choisissez des éléments d'ossature d'un même fabricant pour être sûr de leur parfaite compatibilité et obtenir un ensemble solide.

Les plaques de plâtre couramment employées pour les plafonds rapportés sont les BA 13, de 12,5 mm d'épaisseur, standard. Elles peuvent aussi être acoustiques ou hydrofuges. Dans le cas d'un PRE, choisissez des plaques de plâtre prévues à cet effet.
Les dimensions des plaques sont standardisées : 120 cm de largeur, pour des longueurs comprises entre 240 et 360 cm. Les plaques classiques sont pourvues de deux bords amincis. Si elles conviennent parfaitement pour les ouvrages verticaux, leur usage est plus délicat au plafond. Préférez dans ce cas des plaques à quatre bords amincis. Cela simplifie la réalisation de l'ossature, le jointoiement et l'enduit par la suite.

Les fourrures de l'ossature métallique sont en tôle d'acier galvanisé (figure 347). Les plus courantes ont une section de 45 x 18 mm pour une longueur de 3,00 m. Elles sont similaires aux montants utilisés pour l'isolation murale sur ossature métallique. La portée maximale

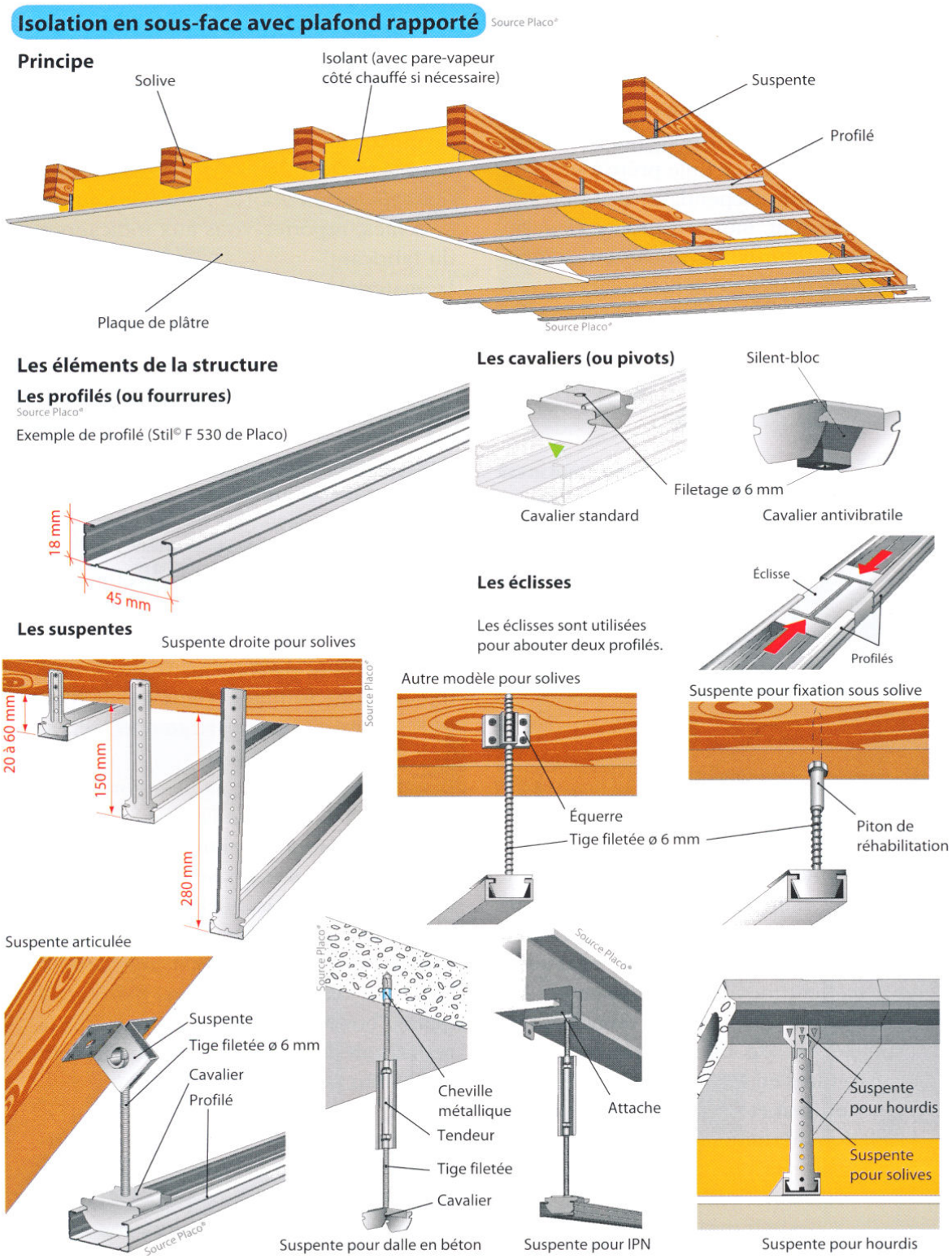


Figure 347 : L'isolation en sous-face avec un plafond rapporté

sans support, avec plaque de plâtre, est d'environ 1,20 m. Il existe d'autres types de fourrures adaptés pour la pose de deux couches de plaques de plâtre ou pour couvrir de longues portées sans suspentes, jusqu'à 5,00 m pour certains modèles.
Pour la découpe des fourrures ou pour un résultat plus rapide et plus soigné, procurez-vous une cisaille grignoteuse. Pour réutiliser les chutes de fourrures, prévoyez des éclisses, conçues pour abouter les fourrures (figure 348).
Il existe une grande variété de suspentes en fonction du type de support et de la hauteur du plénum au-dessus du plafond.

Les suspentes sont destinées à solidariser les fourrures à la structure. Elles sont généralement en acier galvanisé et doivent pouvoir supporter le poids du plafond majoré d'un coefficient de sécurité. Les suspentes doivent également rendre impossible le soulèvement du plafond en cas de courant d'air.
Pour la fixation sur solives, utilisez des suspentes plates monobloc. Leur forme spécifique facilite l'emboîtement des fourrures. Elles existent en plusieurs longueurs : courtes pour une hauteur comprise entre 2 et 6 cm, longues pour une hauteur jusqu'à 15 cm ou maxi pour atteindre jusqu'à 28 cm. Vissez la patte de chaque suspente dans la solive au moyen de deux vis TTPC 35.

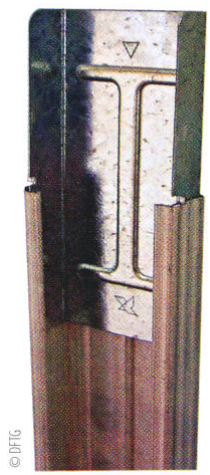

© DFTG

Figure 348 : Une éclisse

Il existe un autre système de suspente sur solives composé d'un piton de réhabilitation, d'une tige filetée de 6 mm de diamètre et d'un cavalier. Le piton se visse dans la solive grâce à une empreinte d'écrou. Il se termine par une chemise, également filetée, dans laquelle on visse la tige filetée. Vous pouvez également utiliser une équerre de fixation avec chemise filetée dans laquelle se visse la tige filetée. Le maintien du rail s'effectue aussi au moyen d'un cavalier. Une variante, articulée, laisse la tige filetée tourner dans le support, ce qui peut s'avérer fort utile et pratique pour les structures particulières, comme les charpentes, par exemple. Fixez le support avec quatre vis TTPC 35 ou deux tire-fonds de 6 x 30 mm.

Toutes les suspentes à tige filetée comportent une pièce importante : le cavalier ou pivot. Il est muni d'un trou taraudé destiné à héberger la tige filetée et d'encoches pour emboîter la fourrure. Pour parfaire le réglage de la hauteur de la structure, il suffit de visser ou dévisser le pivot, en veillant néanmoins à ce que la tige filetée occupe toute la hauteur du pas de vis. Il existe des pivots où le raccordement de la tige filetée s'effectue avec un Silentbloc. Ces éléments servent à la réalisation de plafonds acoustiques. Ils diminuent la transmission des vibrations à travers le plafond rapporté. Dans ce cas, il faut veiller à réaliser un joint entre les plaques de plâtre et les murs avec un mastic souple.

Si la dalle supérieure est en béton, utilisez des chevilles métalliques, des tiges filetées de 6 mm de diamètre et des cavaliers. Si la hauteur du plénum est importante, utilisez un tendeur pour assembler deux longueurs de tige filetée.

Pour les charpentes métalliques, il existe des suspentes spécifiques composées d'une attache spéciale qui s'emboîte à force sur les ailes des poutrelles métalliques (IPN) d'une épaisseur inférieure ou égale à 8 mm. Elles comprennent une tige filetée et un cavalier.

Pour les planchers à hourdis en béton ou en terre cuite, utilisez des suspentes adaptées. Elles sont munies d'une griffe qu'il suffit d'enfoncer au marteau entre les hourdis et les poutrelles en béton. Selon la hauteur de plénum souhaitée et selon les modèles, vous pouvez emboîter la fourrure directement sur la griffe pour obtenir entre 40 et 60 mm de plénum, ou adapter une tige filetée ou utiliser une suspente plate pour des hauteurs supérieures.

En rénovation, pour un plafond avec hourdis et enduit de plâtre, vous pouvez fixer les suspentes dans la partie creuse des hourdis. Rappelons que les poutrelles ne doivent jamais être percées. Utilisez un système de bascule adapté aux tiges filetées, c'est-à-dire de 6 mm de diamètre. Pour éviter que la tige ne remonte avec le système de bascule, prévoyez une rondelle et un écrou de serrage. Équipez le bas de la tige filetée d'un cavalier d'attache pour fourrure (figure 349). Le système à bascule s'installe rapidement. Réalisez simplement un percement pour le passage de la bascule, déséquilibrez-la (axe excentré), puis introduisez l'ensemble dans le creux du hourdis. Le système de bascule se met en place automatiquement. Il vous reste alors simplement à serrer.

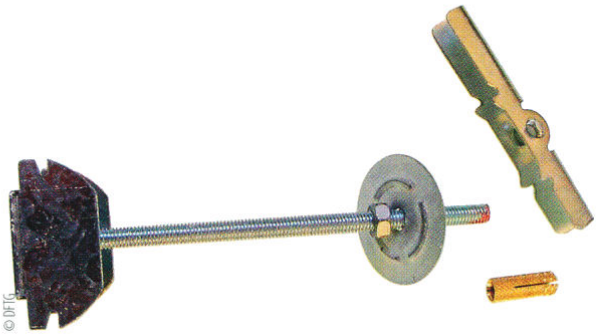


Figure 349 :
Exemple de suspente avec système à bascule

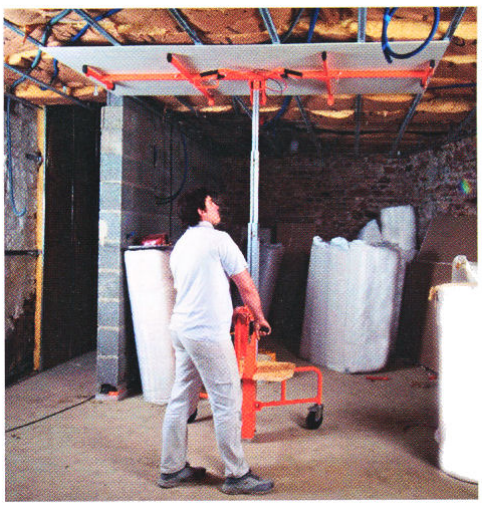
Pour réaliser un faux-plafond, employez un outillage adapté. Fixer les plaques avec un simple tournevis est une solution à proscrire : tenir une plaque en hauteur tout en vissant serait long et pénible. Utilisez une visseuse de plaquiste. Sa tête spéciale permet de maintenir la vis. Le réglage du couple évite le percement de la plaque en fin de vissage. Vous pouvez également utiliser une visseuse classique avec ou sans fil. Les professionnels utilisent généralement des visseuses avec bande d'alimentation de vis (figure 350). Cet outil est idéal mais onéreux pour la réalisation d'un seul plafond.

Figure 350 :
Exemple de visseuse professionnelle

Pour un plafond à simple parement, utilisez des vis TTPC (c'est-à-dire des vis autoperceuses à tête trompette à pointe clou) de 25 ou 30 mm.

Pour maintenir les plaques au plafond avant le vissage, vous avez deux possibilités. La plus simple consiste à procéder à deux intervenants, chacun utilisant un escabeau. Si vous êtes seul, la solution la plus efficace, la plus rapide et la plus souple consiste à utiliser un lève-plaques (figure 351). Vous trouverez cet appareil chez tous les loueurs de matériel.
Pour la découpe des plaques de plâtre, utilisez un cutter en le guidant contre une règle métallique. Entaillez la plaque, mettez-la en porte-à-faux, puis cassez-la en donnant un coup sec. Découpez ensuite la bande de carton de la face opposée. Une scie égoïne à matériaux fait également l'affaire.
La réalisation des faux-plafonds en plaques de plâtre ne doit pas intervenir avant que la construction ne soit hors d'eau et hors d'air, c'est-à-dire à l'abri des intempéries et menuiseries posées. En cas de pointe d'humidité, ventilez le local. Un défaut de ventilation ou un excès d'humidité pourraient entraîner des déformations irréversibles. Réalisez les joints entre les plaques aussitôt après la pose du plafond. Dans les régions venteuses, la pression qui s'exerce sur les plafonds peut provoquer des grincements structurels. Pour pallier ce problème, supprimez le jeu entre les suspentes et les rails en le comblant avec de la mousse expansive.

Posez les lignes d'ossature en respectant un entraxe maximal de 0,60 m. La portée maximale entre deux suspentes est de 1,20 m. Si vous souhaitez doubler l'épaisseur de plaques, il faut réduire l'entraxe. Disposez les plaques de plâtre de telle façon que leur plus grande dimension soit perpendiculaire à la structure, comme c'est le cas le plus courant.
La jonction entre deux plaques doit toujours s'effectuer, sur toute leur largeur et sur une fourrure d'ossature.
La fourrure doit être à 10 cm au maximum du mur, afin de limiter le porte-à-faux des plaques (figure 352). Vous devez donc calculer l'emplacement de la seconde

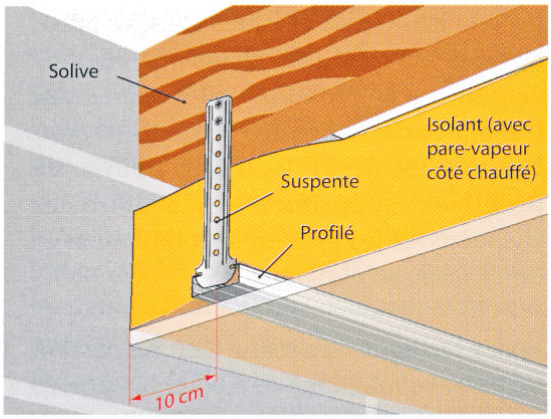


© Mandelin x 2

Figure 351 : Exemple d'utilisation d'un lève-plaques

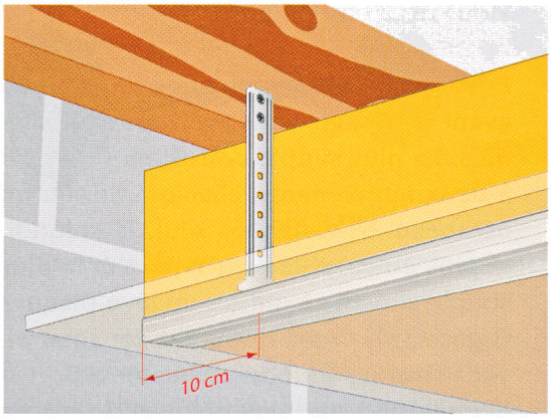
Positionnement de l'ossature d'un plafond rapporté (D'après Placo®)

Première rangée de profilés

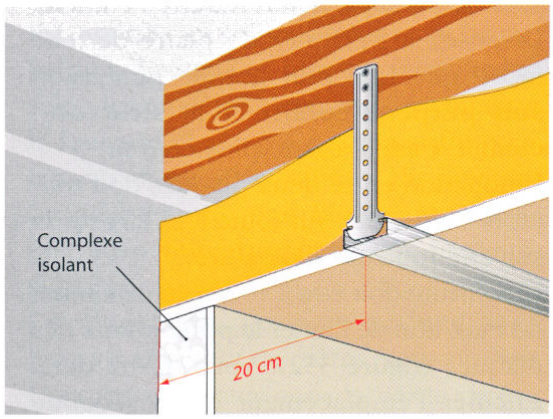


Dans les cas les plus courants, l'axe du premier profilé est placé à 10 cm du mur.

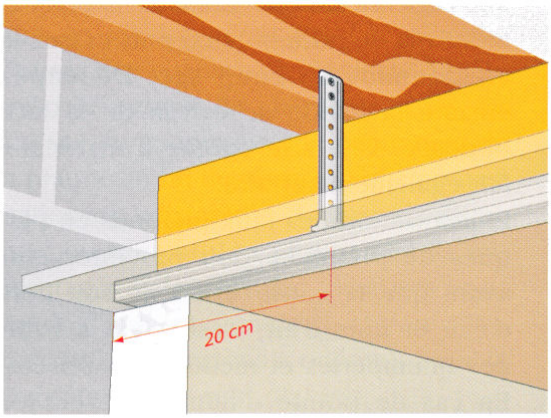
Extrémité des profilés



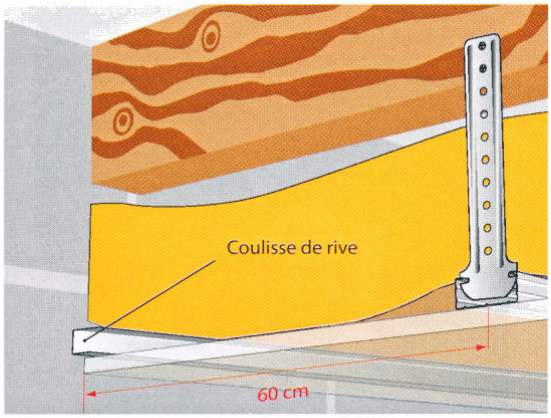
Dans les cas les plus courants, la dernière suspente est placée à 10 cm maximum du mur.



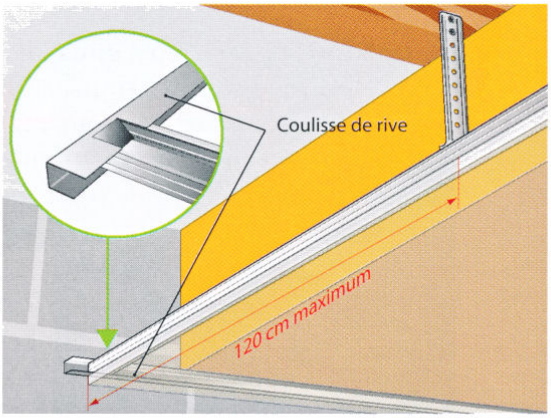
En cas de pose de complexes isolants, l'axe du premier profilé peut être placé à 20 cm maximum du mur.



En cas de pose de complexes isolants, la dernière suspente peut être placée à 20 cm maximum du mur.



L'axe du premier profilé peut être placé à 60 cm maximum du mur si vous utilisez une coulisse ou une cornière de rive.



Si ces distances ne peuvent être repectées, vous devez utiliser une coulisse ou une cornière de rive.

Figure 352 : Le positionnement de l'ossature d'un plafond rapporté

ligne d'ossature en fonction de la longueur des plaques de plâtre choisies. Pour des plaques de 240 cm, placez l'axe de la première ligne d'ossature à 10 cm du mur. Situez l'axe de la deuxième ligne à 60 cm du mur, soit à 50 cm de l'axe de la première ligne. Placez les lignes d'ossature suivantes avec un pas de 60 cm. Pour des plaques de 250 cm, placez l'axe de la première ligne d'ossature à 10 cm du mur, l'axe de la seconde à 60 cm de l'axe de la première ossature, soit à 70 cm du mur. Pour les lignes suivantes, respectez un entraxe de 60 cm. Arrivé au mur opposé, terminez avec une dernière ligne d'ossature à 10 cm du mur.

Vous pouvez porter la distance maximale à 20 cm en cas d'isolation par doublages collés. En règle générale, on réalise les faux-plafonds avant la pose des doublages. Dans le plénum, veillez à isoler le mur extérieur, si bien sûr il est nécessaire d'assurer la continuité de l'isolation avec le niveau supérieur. Sinon, vous posez le doublage en premier.
Si vous installez une cornière ou une coulisse de rive pour le vissage de l'extrémité de la plaque, la distance au mur de la ligne d'ossature peut atteindre jusqu'à 60 cm.
Pour le maintien des extrémités des fourrures, les recommandations sont les mêmes. La première suspente doit être fixée à 10 cm au maximum du mur, puis avec un pas de 120 cm pour les suivantes. La distance peut être portée à 20 cm en cas de doublages isolants, voire à 120 cm, s'il y a une coulisse de rive. Dans ce cas, pour un meilleur maintien, découpez les ailes supérieures de la coulisse et repliez-les dans la fourrure.

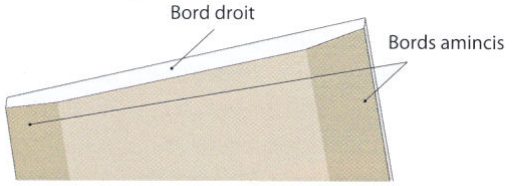
Des lignes d'ossature supplémentaires sont nécessaires si vous utilisez des plaques de plâtre à deux bords amincis et un problème se posera avec les bandes de joint, dans le sens de la largeur des plaques. Vous obtiendrez une surépaisseur difficile à masquer surtout en lumière rasante. Pour pallier cet inconvénient, la méthode classique consiste à installer, au niveau des raccords de plaques, deux lignes supplémentaires d'ossature, à un demi entraxe courant (figure 353). Réglez la ligne d'ossature de liaison des plaques 2 mm plus haut que les autres lignes d'ossature. Lors de la pose des plaques, il y aura un léger retrait qui sera comblé avec la bande de joint et l'enduit. Réalisez des passes d'enduit plus larges pour masquer le raccord. Ces précautions ne sont plus nécessaires si vous utilisez des plaques à quatre bords amincis.

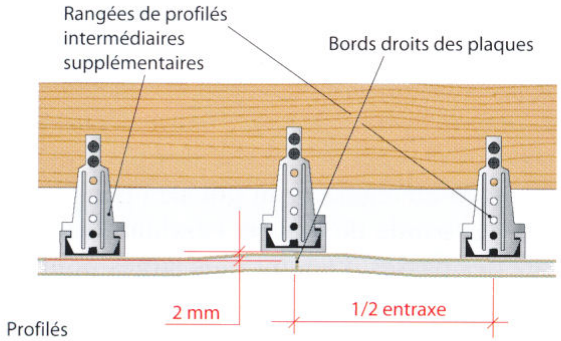
Si le plafond franchit un joint de dilatation du bâtiment ou s'il y a un changement de support, il est nécessaire de l'interrompre. Pour cela, placez une ligne d'ossature de part et d'autre de la ligne de rupture. Réalisez le raccord entre les plaques de plâtre avec un couvre-joint. Il permettra les mouvements différentiels des structures sans provoquer de fissures dans le plafond. Cette précaution vaut également en cas de comportement différent d'une structure de même nature, par exemple dans le cas d'un solivage dans une maison en L, et pour les plafonds d'une longueur supérieure à 15 m.

Si le confort acoustique est important, il faut respecter certaines règles (voir page 521).
Dans le cas d'une cloison légère en plaques de plâtre, assurez la jonction avec le plafond en fixant un rail dans les plaques de plâtre avec des chevilles à expansion, ou vissez-le dans un rail de la structure porteuse du plafond.

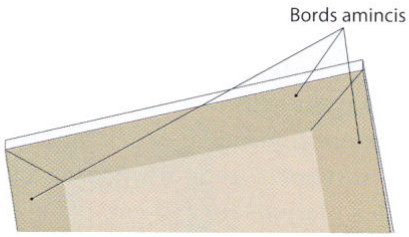
Détails constructifs d'un plafond rapporté sur ossature métallique 1/2

Plaques de plâtre à 2 bords amincis

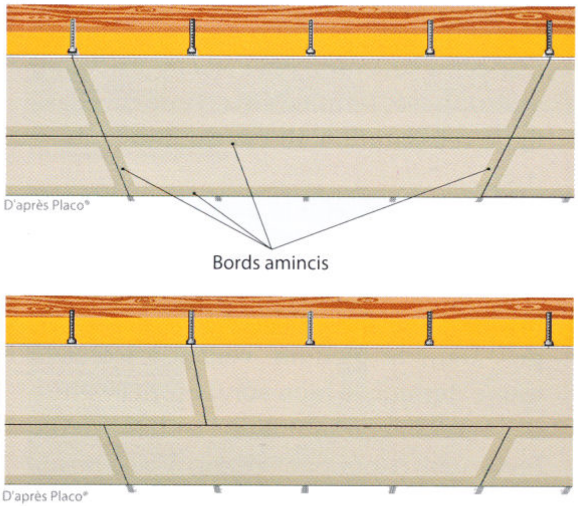




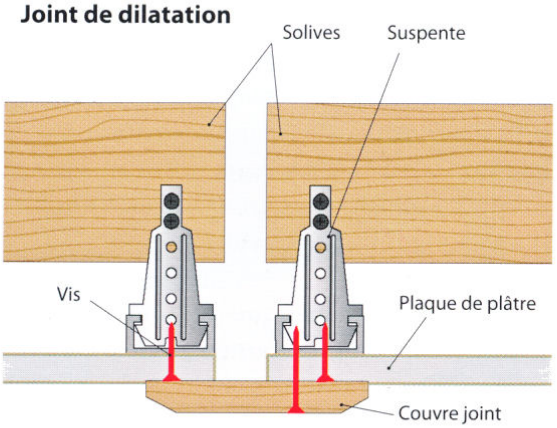
Plaques de plâtre à 4 bords amincis



Modes de pose possibles

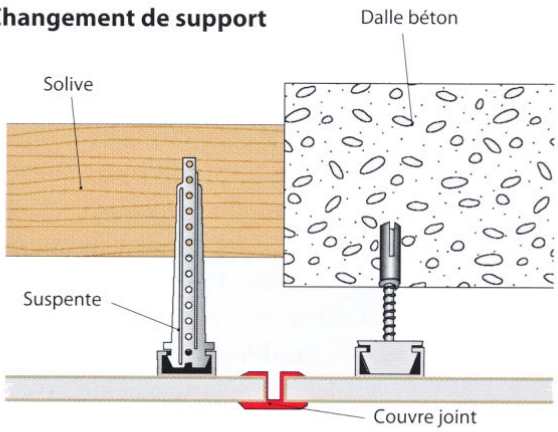


Joint de dilatation



Cette solution permet le franchissement des joints de dilatation de la construction. Vous pouvez également utiliser des profilés de dilatation prévus à cet effet.

Changement de support



Cette solution permet de s'affranchir des mouvements de structures de différente nature. Il doit être utilisé également en cas de comportement différent d'une même structure (maison en L) ou pour les plafonds d'une longueur supérieure à 15 m.

Figure 353 : Les détails constructifs d'un plafond sur ossature métallique 1/2

Dans le cas d'une cloison en carreaux de plâtre, comblez sa partie supérieure avec de la colle à carreaux de plâtre. Masquez la jonction entre plafond et cloison avec des bandes de joint. Si le plafond est acoustique, réalisez un joint avec un mastic souple.

Le rôle d'un plafond rapporté est aussi d'assurer l'étanchéité à l'air, c'est pourquoi il est indispensable de réaliser des joints étanches avec les parois verticales, même si un doublage collé est prévu sur les murs. Dans ce cas, cela permettra aussi d'assurer l'étanchéité de la lame d'air située derrière le complexe (figure 354).

Un faux-plafond en plaques de plâtre cartonné n'offre pas les mêmes caractéristiques de résistance mécanique qu'un plafond plein. Pour y pratiquer des accrochages, il convient de respecter certaines règles. Pour les charges jusqu'à 3 kg, utilisez des chevilles à bascule, à ressort ou des chevilles à expansion.
Pour les charges comprises entre 3 et 10 kg, choisissez une cheville à expansion de type Molly®, fixée sur l'ossature du plafond. Ne posez pas d'autres chevilles à moins de 1,20 m de la première.
Pour les charges supérieures à 10 kg, le point d'ancrage doit se faire directement dans la structure porteuse. Il en va de même pour une boîte de raccordement électrique de plafonnier.

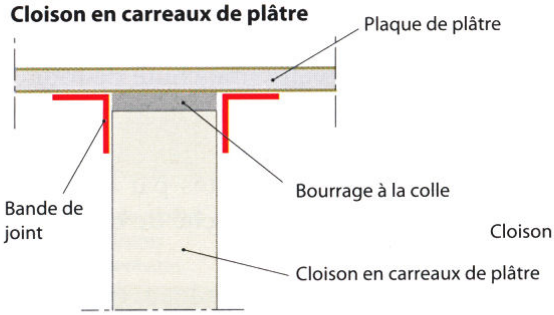
Pour mettre en œuvre un plafond rapporté, la première étape consiste à tracer le niveau inférieur de l'ossature sur les murs. Vérifiez que le support est de niveau, sinon prenez le point le plus bas comme référence. Prenez également en compte la hauteur de l'isolation. Marquez le tracé au moyen d'un cordeau traceur. Vous pouvez utiliser un niveau à bulle ou mieux, un niveau laser.
Fixez une suspente, à 10 cm des murs, aux quatre coins de la pièce (figure 355). Vérifiez en emboîtant une chute de fourrure dans les suspentes, que le trait de niveau est bien respecté.
Reliez ces quatre suspentes par un cordeau, au niveau de l'encoche de clipsage des fourrures.
En vous guidant sur le cordeau, fixez les suspentes de la première ligne d'ossature. Répétez l'opération pour la dernière ligne d'ossature, contre le mur opposé.
Placez ensuite les premières et dernières suspentes des lignes d'ossature intermédiaires en vous guidant toujours avec le cordeau.
Placez ensuite le cordeau entre les deux suspentes des extrémités de la deuxième ligne d'ossature, pour placer les suspentes sur toute la longueur, avec un pas de 1,20 m. Procédez de la même manière pour les lignes d'ossature intermédiaires.
Découpez les fourrures à la longueur de la pièce, puis emboîtez-les sur la ligne de suspentes. Si vous utilisez des éclisses pour abouter les fourrures, décalez-les d'une rangée sur l'autre.

Vérifiez la planéité de l'ensemble de l'ossature, au moyen d'un niveau à bulle. Le cas échéant, corrigez la position des suspentes trop hautes ou trop basses. Les suspentes plates vissées sur les solives nécessitent d'être dévissées et revissées. Les suspentes avec tige filetée sont beaucoup plus simples et précises à régler.
Installez ensuite l'isolant. S'il est en rouleaux, placez-le sur les lignes d'ossature, pare-vapeur du côté chauffé. Si le plancher support sépare deux locaux chauffés, le pare-vapeur est inutile. Posez les lés jointifs et parfaitement en contact

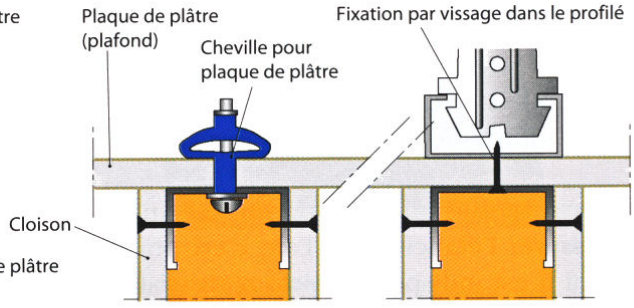
Détails constructifs d'un plafond rapporté sur ossature métallique 2/2

Liaison avec les cloisons

Cloison en carreaux de plâtre

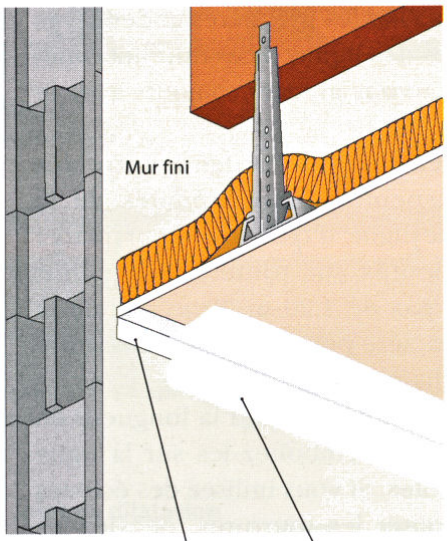


Cloison en plaques de plâtre sur ossature métallique

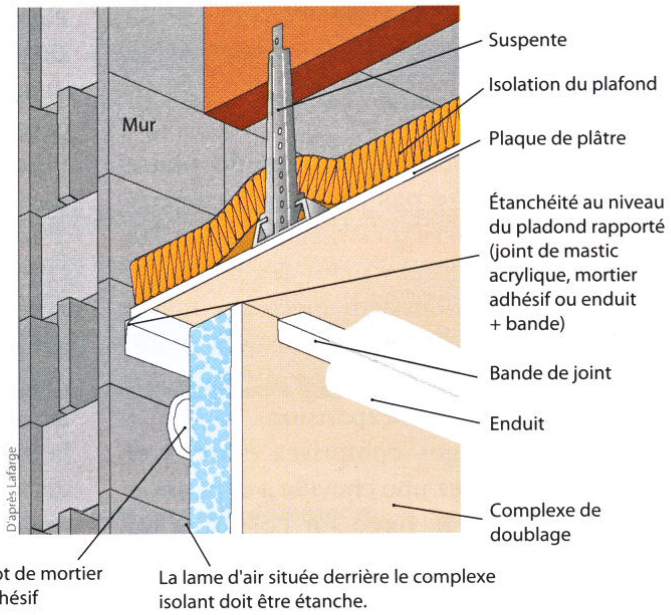


Liaison avec les parois verticales

Avec mur fini



Avec complexe de doublage



Les fixations

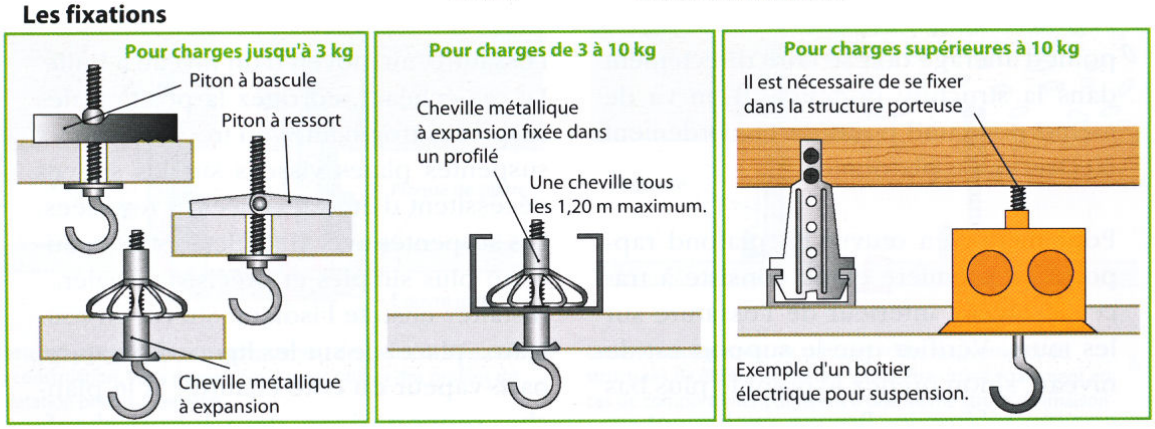
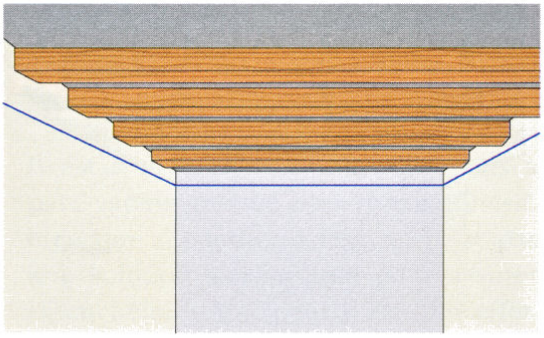
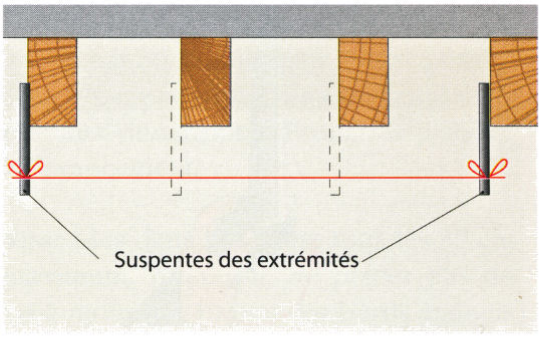


Figure 354 : Les détails constructifs d'un plafond sur ossature métallique 2/2

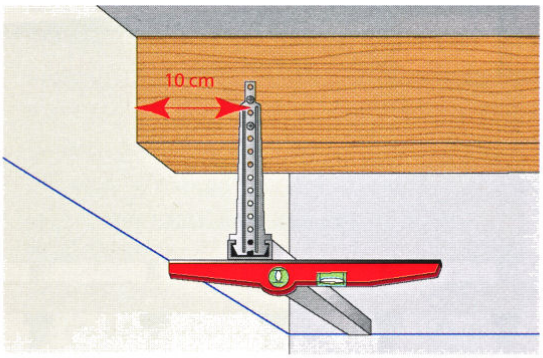
Mise en œuvre d'un plafond sur ossature métallique (1/2)



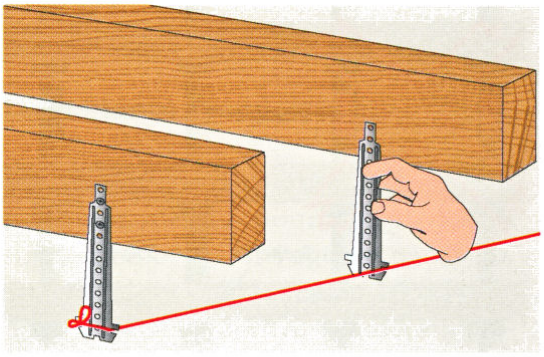
1 - *À l'aide d'un cordeau, d'un niveau ou d'un niveau laser, tracez la partie basse de l'ossature du plafond rapporté. Tenez compte de l'épaisseur de l'isolant que vous allez utiliser.*



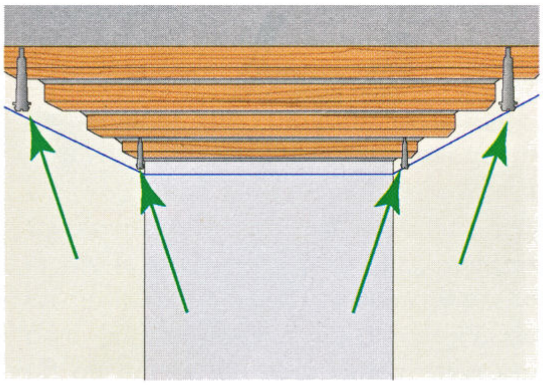
4 - *Attachez un cordeau entre les suspentes posées aux quatre coins de la pièce, dans le sens de la longueur et de la largeur de la pièce. Le cordeau permet le parfait alignement des suspentes intermédiaires.*



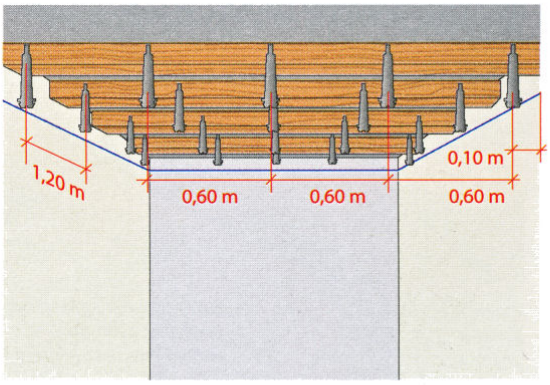
2 - *Fixez une première suspente dans un angle de la pièce. Positionnez son axe à 10 cm du mur maximum et déterminez sa hauteur en fonction du trait de niveau.*



5 - *Fixez les suspentes intermédiaires en vous guidant avec le cordeau. Les travées de suspentes ont un entraxe de 60 cm (à partir du mur) et sont positionnées tous les 120 cm.*



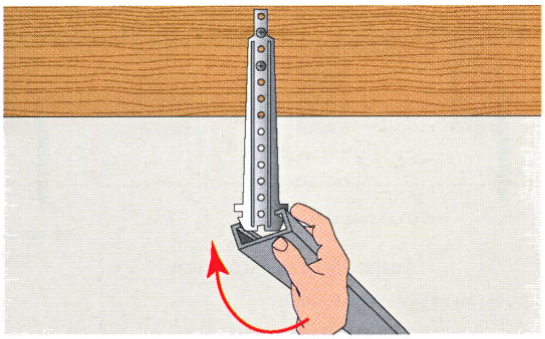
3 - *Fixez les suspentes aux quatre coins de la pièce en respectant les mêmes règles de pose que pour l'étape précédente.*



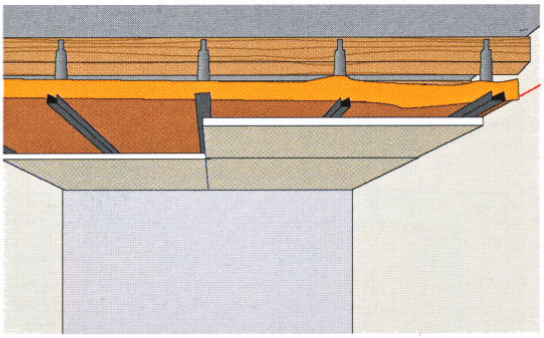
6 - *Fixez toutes les suspentes du plafond en respectant les distances indiquées ci-dessus.*

Figure 355/1 : La mise en œuvre d'un plafond sur ossature métallique

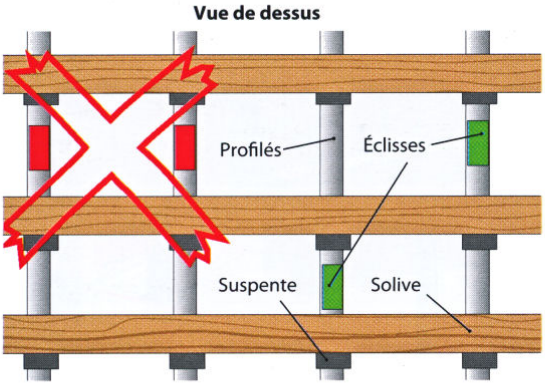
Mise en œuvre d'un plafond sur ossature métallique (2/2)



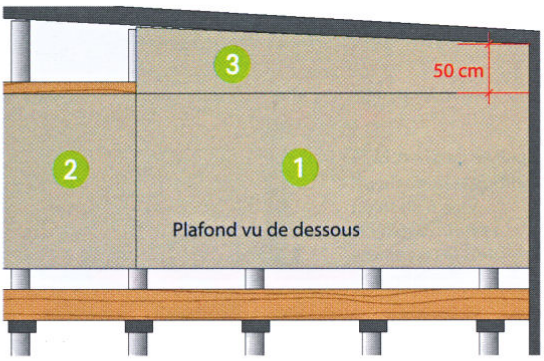
7 - *Découpez les profilés à la longueur nécessaire et fixez-les dans les suspentes. Placez le profilé dans la rainure et faites-le pivoter d'un quart de tour.*



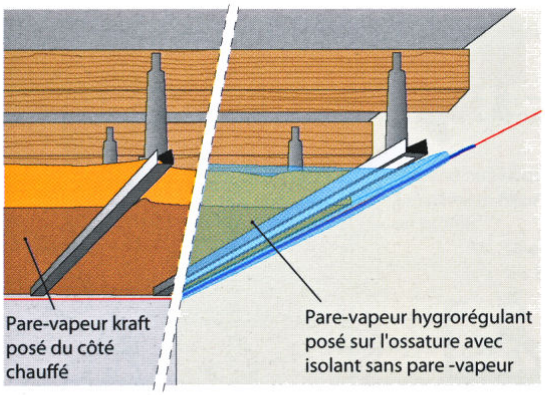
10 - *Posez les plaques de plâtre perpendiculairement aux profilés. Si les parois verticales sont parfaitement d'équerre, vous pouvez débuter la pose dans un angle.*



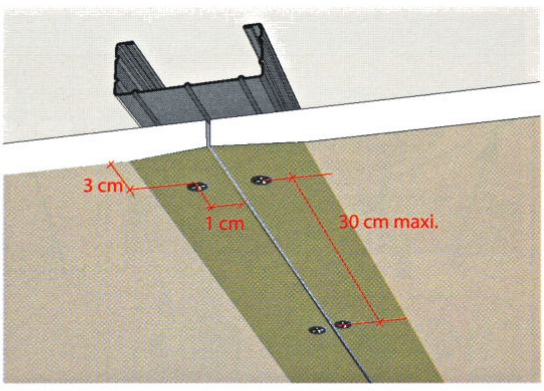
8 - *Pour utiliser les chutes de profilés ou abouter des profilés trop courts, utilisez des éclisses. Pour ne pas affaiblir la structure, les éclisses doivent être placées en décalage d'une rangée d'ossature à l'autre.*



11 - *En cas d'angle non d'équerre, décalez la première plaque (1) d'environ 50 cm du mur. Placez ensuite la seconde plaque (2) dans l'alignement, puis la plaque de l'angle après découpe (3).*



9 - *Utilisez un isolant en rouleau. Découpez les lés d'isolant (largeur de la pièce majorée d'un ou deux centimètres), puis placez-les sur les profilés.*



12 - *Les plaques sont vissées tous les 30 cm. Au niveau des raccords de plaques sur un profilé, respectez les distances indiquées ci-dessus.*

Figure 355/2 : La mise en œuvre d'un plafond sur ossature métallique

avec les parois. Solidarisez-les avec du ruban adhésif pare-vapeur à longue durée de vie. N'employez pas un adhésif classique qui n'assurerait pas une liaison étanche et pérenne.

Il est à noter que l'usage d'isolants à pare-vapeur intégré plus ruban adhésif, bien que répandu en France, n'est pas une solution satisfaisante pour assurer l'étanchéité à la vapeur d'eau. En effet, cela peut poser problème sous certaines conditions d'humidité relative de l'air, plus particulièrement si le plafond est en contact avec un volume non chauffé.
Le plafond rapporté en plaques de plâtre assure l'étanchéité à l'air, mais pas à la vapeur qui, une fois la plaque de plâtre traversée, continue sa migration par les points faibles de l'isolant avec pare-vapeur, c'est-à-dire par les défauts aux jonctions avec les parois latérales.
Pour parfaire l'étanchéité du pare-vapeur, vous pouvez utiliser des bandes de film de PE ou de PP, d'une épaisseur de 100 micromètres. Collez-les au pare-vapeur des panneaux isolants, d'un côté au moyen de ruban adhésif pare-vapeur et de l'autre côté, sur la maçonnerie, avec un mastic d'étanchéité.
Vous pouvez également plus simplement utiliser un pare-vapeur rapporté à placer directement sur l'ossature métallique, avec du double-face et recouvrement des lés assuré avec l'adhésif. Veillez à traiter aussi les percements éventuels et les jonctions avec les maçonneries en utilisant du mastic d'étanchéité. Le pare-vapeur peut être un film de PE, de PP ou mieux, un pare-vapeur hygrorégulant. Cette solution est présentée dans les paragraphes concernant la réalisation des combles, page 605.
Procédez ensuite à la pose des plaques de plâtre, perpendiculairement à l'ossature. Débutez dans un angle de la pièce. Si l'équerrage n'est pas parfait, décalez la première plaque de 50 cm au moins par rapport au mur. Vous comblerez l'espace restant avec une chute coupée aux dimensions. Posez les plaques à l'avancement.

Vissez-les dans l'ossature tous les 30 cm maximum. Attention, ne placez pas de vis à moins de 10 mm des bords amincis et à moins de 30 mm de l'extrémité des plaques.
Pour ce qui concerne les finitions et la réalisation des joints, reportez-vous page 414.

Les panneaux rapportés

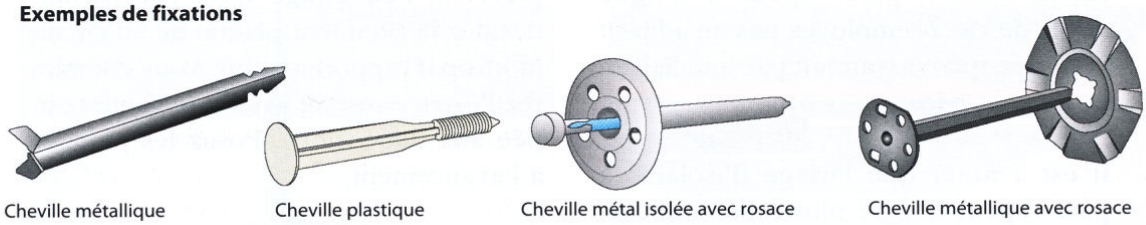
Les panneaux rapportés sont principalement utilisés pour les planchers support en béton. Il s'agit de panneaux ou complexes isolants de fibragglos dont la fixation s'effectue mécaniquement, en sous-face des dalles existantes (figure 356). Il est également possible de les placer en fond de coffrage avant

© Knauf

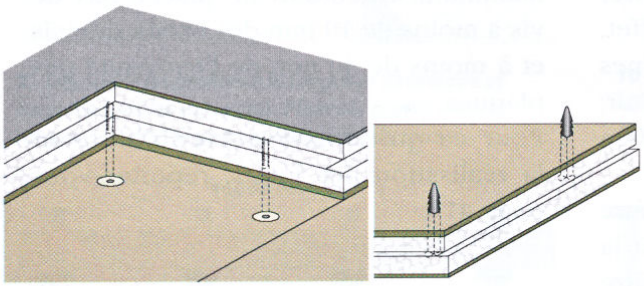
Figure 356 :
La pose d'un panneau de fibragglos

Isolation par panneaux rapportés en sous-face (D'après Heraklith)

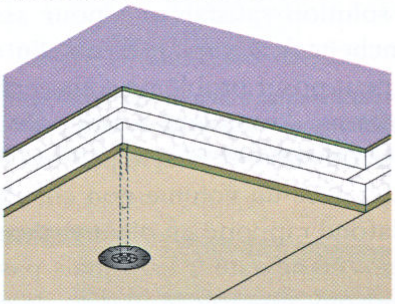
Exemples de fixations



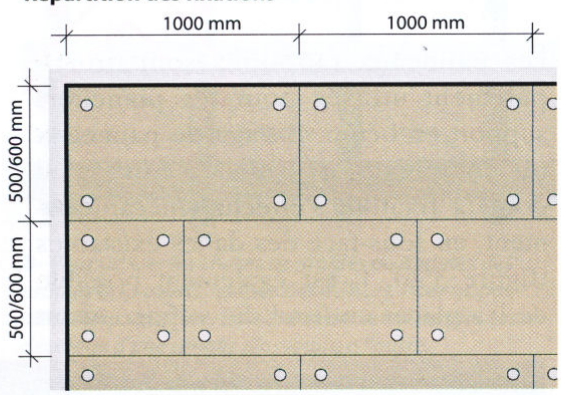
Fixation des plaques avec des chevilles simples

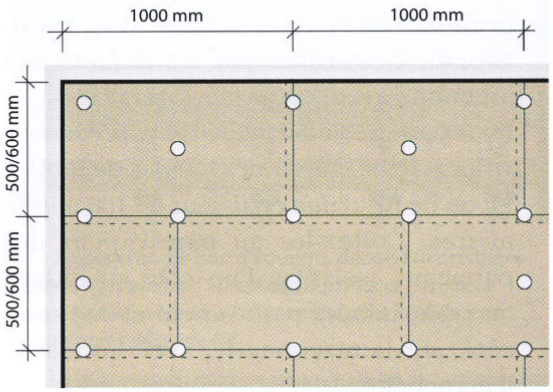


Fixation des plaques avec rosaces métalliques

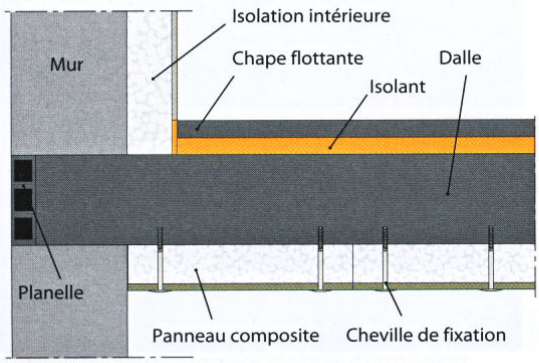


Répartition des fixations





Vue en coupe du plancher



Passage d'une poutre

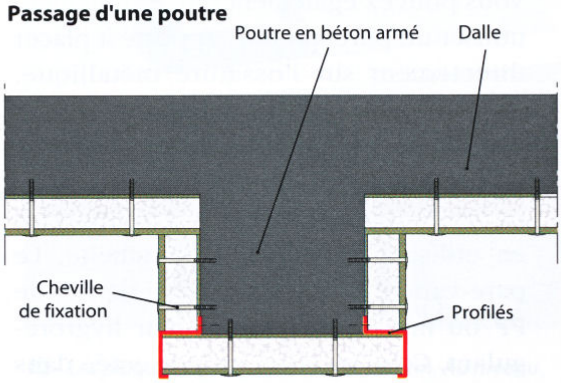


Figure 357 : L'isolation par panneaux rapportés en sous-face

coulage de la dalle. Ces panneaux procurent une bonne résistance au feu (selon les modèles), une bonne correction acoustique du local et une isolation thermique en fonction du matériau isolant pris en sandwich entre les panneaux de fibragglos.

Avant la fixation mécanique, il convient d'ébavurer la sous-face du plancher. Repérez également les éventuelles irrégularités qui nécessiteront la découpe d'un panneau. Utilisez des systèmes de fixation adaptés au support et à l'épaisseur du complexe (figure 357).
Commencez la pose dans un angle. Posez les panneaux à joints serrés et décalés d'une rangée sur l'autre. Utilisez huit fixations par mètre carré, en respectant la distance minimale de 2 cm des bords. Effectuez les percements directement à travers chaque panneau maintenu en place.
Utilisez un marteau pour frapper les chevilles.
Si vous souhaitez enduire les panneaux par la suite, portez le nombre de fixations à douze par mètre carré.
Vous pouvez aussi utiliser des fixations invisibles à placer sur les côtés des panneaux.

Pour passer des lignes électriques ou autres, pratiquez une découpe dans le complexe, au droit des gaines.
Prenez soin d'enrober les poutres éventuelles. Pour ne pas laisser apparent le côté des complexes, utilisez des profilés.

Une autre méthode de mise en œuvre est le coffrage isolant. Il suffit d'installer les panneaux rapportés en fond de coffrage avant le coulage de la dalle. Cette solution permet de réaliser le plancher et son isolation en sous-face en une seule opération.
La mise en place des panneaux aptes à résister à la compression s'effectue après la réalisation de l'étayage de la dalle, avant le coulage. Munissez les panneaux d'attaches qui seront noyées dans le béton. Ces accessoires peuvent être en plastique, si la résistance au feu n'est pas nécessaire, ou métalliques. Ils se présentent sous la forme de crochets, d'ancrages ou d'agrafes. Si leur tête est pointue, n'oubliez pas de les replier afin d'éviter les risques d'accidents pendant le chantier.

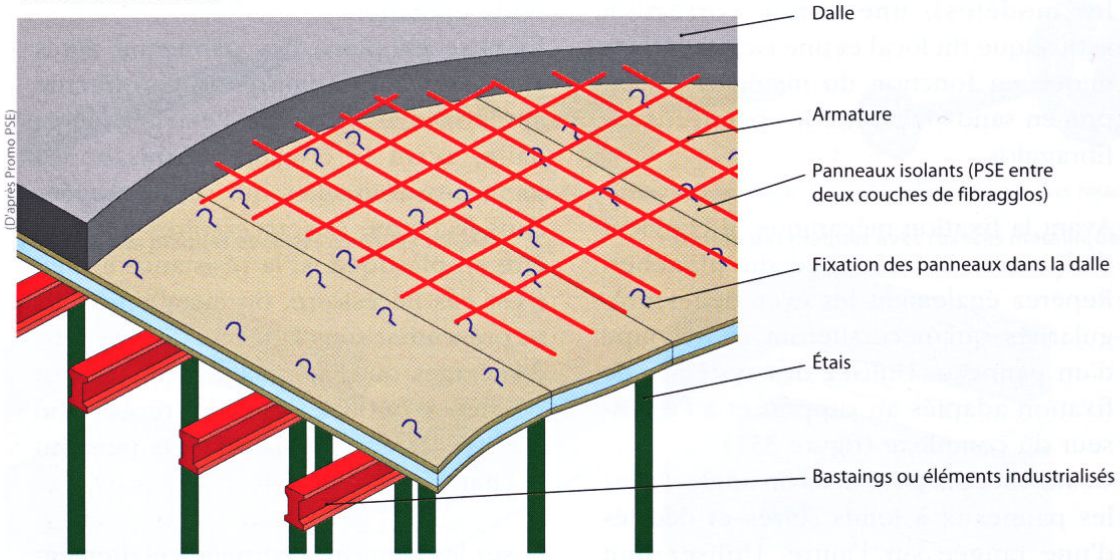
Posez les panneaux perpendiculairement aux éléments de support de coffrage, à joints serrés et décalés d'une rangée sur l'autre. Si des réservations sont nécessaires, découpez préalablement la partie supérieure des panneaux pour y placer les cales. Réalisez le percement définitif du panneau par le dessous, après coulage et séchage de la dalle.
Vous pouvez ensuite ferrailler et couler la dalle en place.

Une solution similaire est la pose en fond de coffrage. Les panneaux isolants ne servent alors pas de fond de coffrage mais reposent sur les panneaux destinés au coffrage. Cette pose est utile lorsque les panneaux isolants ont une sous-face peinte ou décorative qui ne doit pas être abîmée par le contact direct avec l'étayage. La méthode de pose est la même que précédemment.

Dans tous les cas, pour éviter les coulures de laitance de béton et si les panneaux ne sont pas feuillurés ou bouvetés, protégez les joints avec du ruban adhésif.

Isolation en fond de coffrage avec panneaux composites

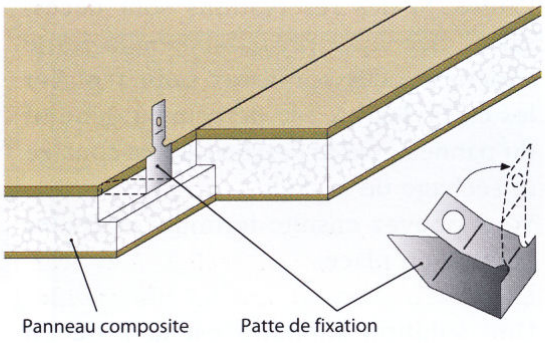
Détail constructif



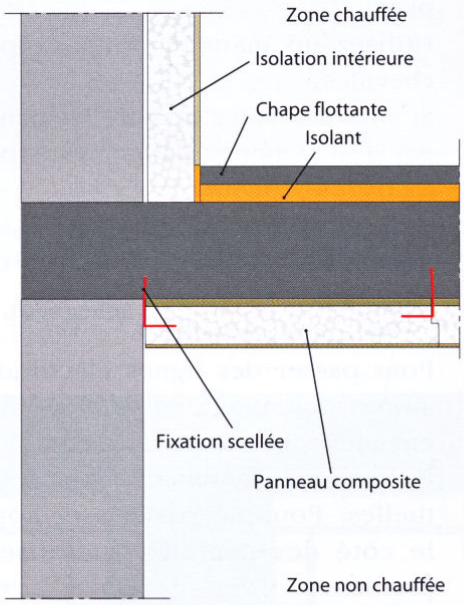
(D'après Promo PSE)

Exemple de fixations

(D'après Heraklith)



Vue en coupe du plancher



Positionnement des plaques et des fixations

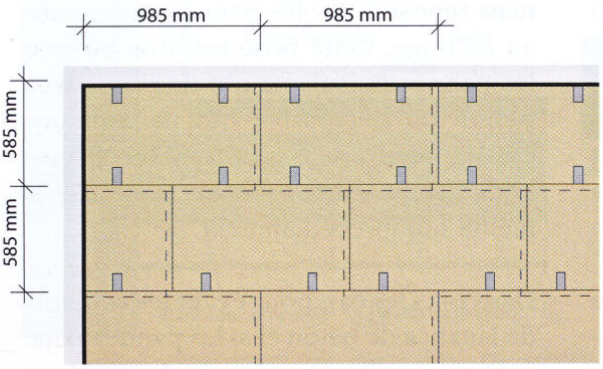


Figure 358 : L'isolation en fond de coffrage avec panneaux composites

Les toitures

Il existe de nombreuses solutions pour isoler les toitures selon leur type : inclinée ou plate. Pour les toitures inclinées, les méthodes sont différentes selon que les combles sont perdus ou aménagés. Les solutions par l'extérieur sont adaptées à la construction neuve ou en cas de rénovation complète de la toiture. Les principaux procédés de mise en œuvre seront présentés.
En ce qui concerne les toitures plates composées d'un plancher lourd, rappelons qu'elles doivent toujours être isolées par l'extérieur. Il est cependant possible de créer une isolation intérieure complémentaire en sous-face, pour limiter le pont thermique.

Les combles

Dans un bâtiment existant, plusieurs vérifications sont nécessaires avant d'isoler. Assurez-vous que les éléments de charpente sont sains et secs, que la couverture est en bon état et parfaitement étanche. S'il y a un écran sous toiture souple ou dur, vérifiez s'il est nécessaire ou non de créer une lame d'air continue, de la gouttière au faîtage, entre l'écran et l'isolant. En rénovation, si l'isolant en place est un plastique alvéolaire aux performances insuffisantes, déposez-le au profit d'une laine minérale. Le conserver perpétuerait ou entraînerait des problèmes de perméance à la vapeur d'eau. Si l'isolant en place est un fibreux, vous pouvez le conserver, à condition de perforer ou de retirer le pare-vapeur avant d'installer un nouvel isolant avec pare-vapeur.
Évitez de dissimuler les boîtes de dérivation électriques sous l'isolant, elles doivent rester accessibles. Dans les combles perdus, si des gaines cheminent sur le sol, passez-les au-dessus de l'isolant lors de la mise en œuvre de l'isolation. Autour d'un conduit de fumée, respectez une zone incombustible de 16 cm avec tout élément de charpente. Utilisez un isolant nu et incombustible.

Les combles perdus

L'isolation des combles perdus est la plus facile à mettre en œuvre et à la portée de tous. Cependant, dans le cas d'un isolant soufflé, une machine spécifique est nécessaire. Vous pouvez éventuellement la louer ou faire appel à un professionnel.

Par contre, ces solutions condamnent l'utilisation du comble, même pour le stockage. On peut prévoir éventuellement une circulation pour vérification de la toiture. Ce peut être une solution d'attente pour un aménagement futur du comble en partie habitable, les éléments isolants seront faciles à retirer (excepté un isolant en flocons soufflé ou rapporté).

L'isolation s'effectue avec des isolants en panneaux ou en rouleaux, en une ou deux couches selon les performances souhaitées. Si la première couche située côté chauffé dispose d'un pare-vapeur, la seconde couche ne doit pas en avoir. Notez que le parement en kraft intégré à l'isolant n'assure pas une bonne étanchéité à la vapeur d'eau. Il est préférable d'installer un véritable pare-vapeur indépendant, pour un résultat beaucoup plus satisfaisant.
Posez l'isolant horizontalement sur le plancher, qu'il soit en béton, maçonné ou

léger en bois. Dans le cas de fermettes, le support est un plafond léger rapporté.
N'oubliez pas d'isoler la trappe d'accès aux combles afin de ne pas créer de point froid et un risque de condensation. Si l'accès s'effectue par un escalier, prévoyez une ou deux portes afin de limiter les déperditions thermiques.

L'isolation sur plancher

Si le plancher est lourd, dalle béton ou hourdis avec dalle de compression, l'étanchéité à l'air est assurée. En revanche, il laisse transiter un certain flux de vapeur d'eau par conduction. Pour les planchers bois, l'étanchéité à l'air dépend de la sous-face du plancher. Si elle est en plâtre, l'ensemble est considéré comme étanche à l'air. Si des gaines électriques traversent le plancher, il faut étancher les percements avec un mastic souple. Identifiez les gaines électriques et de ventilation que vous poserez simplement sur l'isolant. Le poids induit est censé ne pas le compresser.

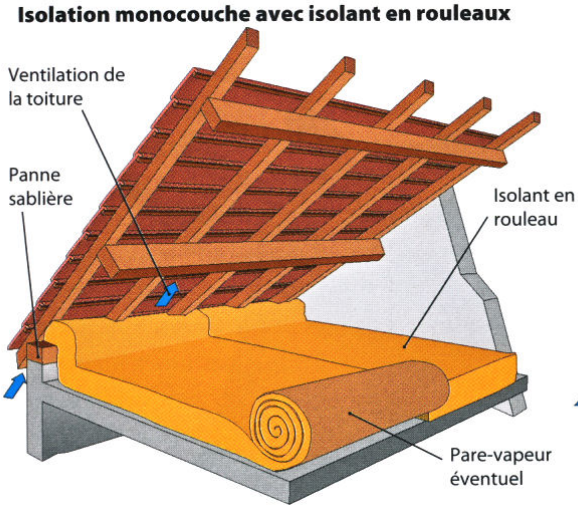
Vous pouvez choisir tout type d'isolant en rouleaux ou en panneaux semi-rigides. Ses performances dépendront du niveau d'isolation thermique et/ou acoustique souhaité.
Sur un plancher bois, l'isolant doit disposer d'un pare-vapeur. Cela n'est pas indispensable sur un plancher en béton mais conseillé si l'habitation offre une hygrométrie élevée, est mal ventilée ou en région très froide.
Posez l'isolant jusqu'à la panne sablière et recouvrez-la. N'obturez pas la ventilation de la toiture : respectez une lame d'air de 2 cm au moins.
Mesurez la longueur d'isolant à mettre en œuvre, puis découpez les lés après les avoir majorés de 2 à 3 cm par rapport à la longueur relevée. Déroulez les lés sur toute la largeur du comble (figure 359), pare-vapeur du côté du plancher. Les lés doivent reposer parfaitement sur le plancher support, sans lame d'air, jointifs et bord à bord.

Pour une isolation en deux couches, la seconde ne doit pas disposer de pare-vapeur. Posez-la perpendiculairement à la première, en décalant les joints.
Avec un isolant en panneaux semi-rigides, la pose est similaire. Utilisez des panneaux découpés pour recouvrir la panne sablière. Avec des panneaux entiers jointifs recouvrez toute la surface du plancher porteur. S'il y a deux couches, respectez les mêmes règles qu'avec un isolant en rouleaux.
Il est conseillé de créer une circulation pour visiter la toiture par la suite. Pour ce faire, disposez des lambourdes sur le plancher. Recouvrez-les d'un panneau de particules de 19 mm. Comblez l'espace entre les deux lambourdes d'isolant en prenant soin de ménager une lame d'air de 2 cm. Disposez sur les panneaux de particules une seconde couche d'isolant. Il suffira de la mettre de côté lors des visites et de la remettre en place ensuite.

Pour assurer l'étanchéité à la vapeur d'eau et donc à l'air, il est conseillé d'utiliser un pare-vapeur indépendant (figure 360). En effet, il sera difficile,

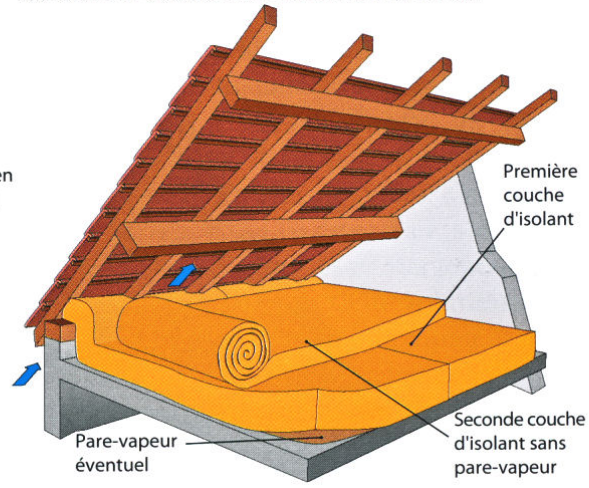
Mise en œuvre d'une isolation sur plancher de combles perdus

Isolation monocouche avec isolant en rouleaux



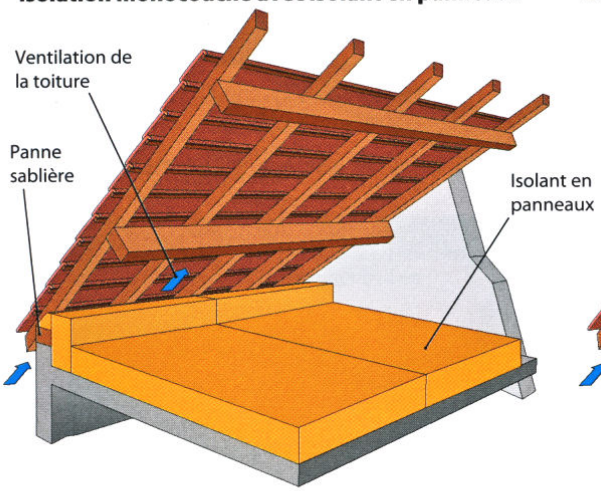
L'isolant doit recouvrir la panne sablière. Découpez les lés d'isolant en majorant la longueur de 3 cm. Posez les lés jointifs. Le pare-vapeur est obligatoire pour un plancher bois, facultatif pour un plancher béton.

Isolation bi-couche avec isolant en rouleaux



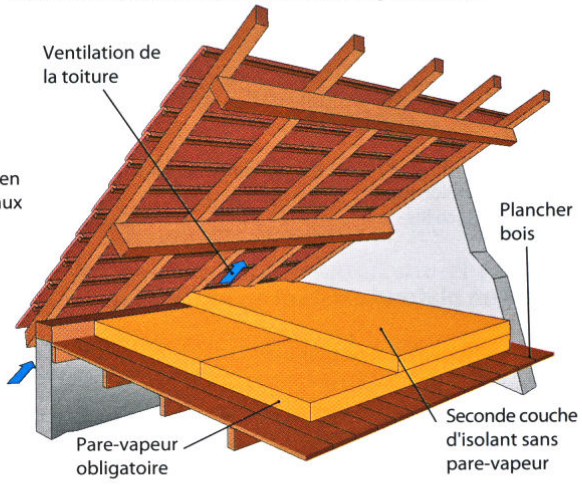
L'isolant doit recouvrir la panne sablière. La première couche est posée sur le plancher. La seconde couche sans pare-vapeur est posée en couche croisée ou à joints décalés.

Isolation monocouche avec isolant en panneaux

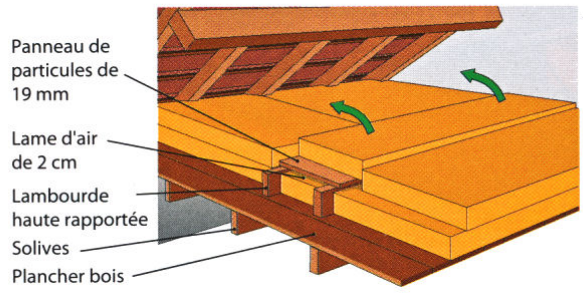


L'isolant doit recouvrir la panne sablière. Découpez les plaques à la longueur nécessaire majorée de 1 ou 2 cm. Posez les plaques jointives. Le pare-vapeur est posé côté chauffé (si nécessaire).

Isolation bi-couche avec isolant en panneaux



L'isolant doit recouvrir la panne sablière. La première couche est posée sur le plancher. La seconde couche sans pare-vapeur est posée en couche croisée ou à joints décalés.



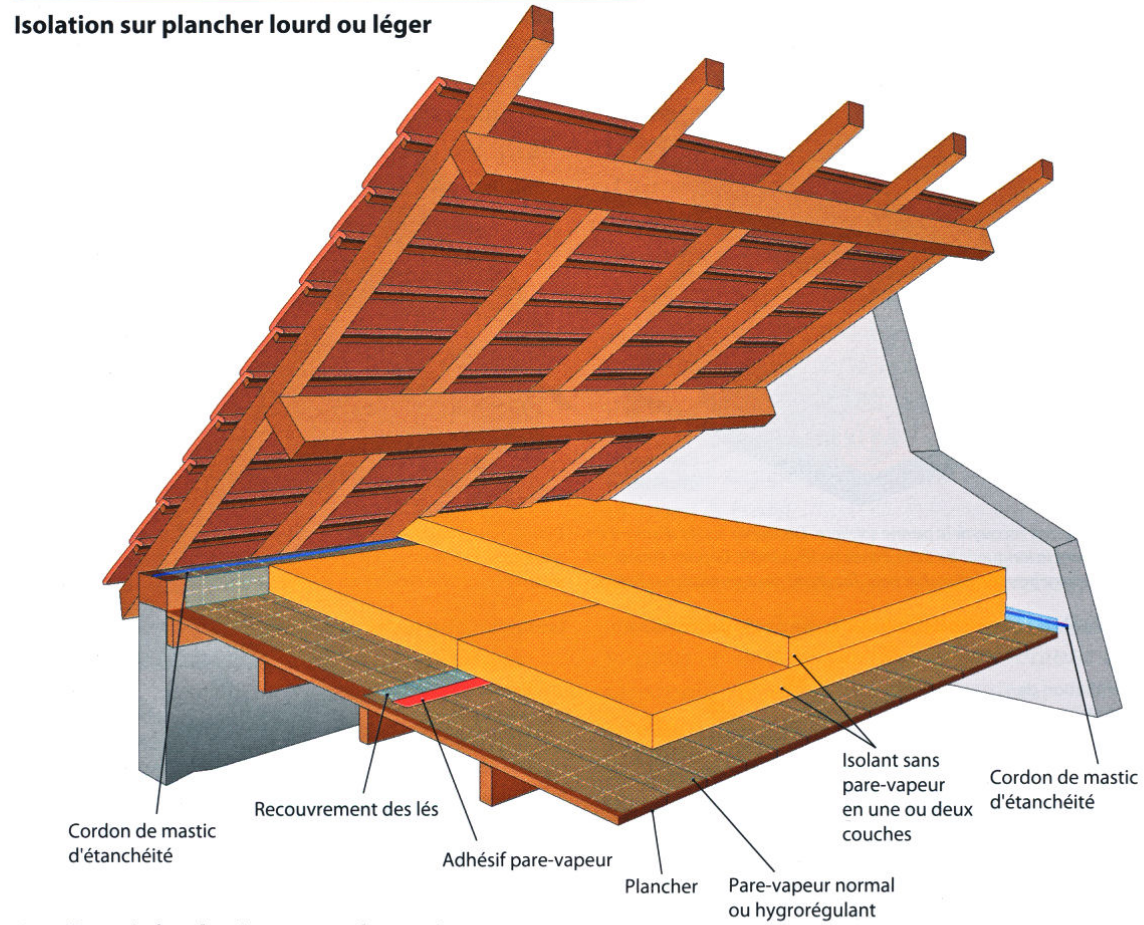
◀ Aménagement d'une circulation

Pour des raisons de maintenance, il peut être nécessaire de créer une circulation. L'isolant est dégagé lors du passage, puis remis en place après l'intervention.

Figure 359 : La mise en œuvre d'une isolation sur plancher en combles perdus

Isolation sur plancher avec pare-vapeur continu

Isolation sur plancher lourd ou léger



Cas d'un plafond existant en rénovation

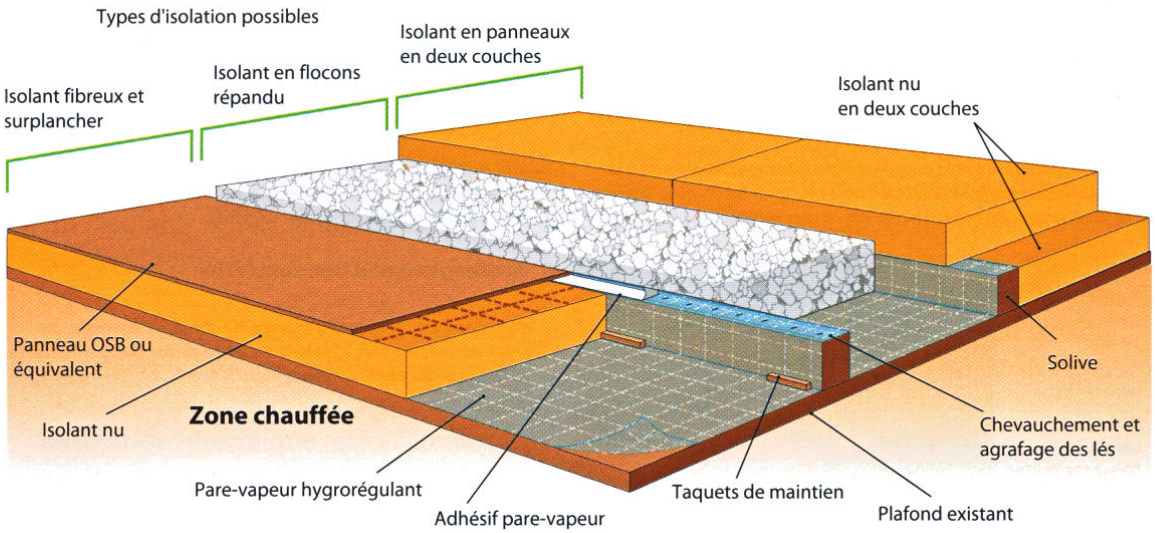


Figure 360 : L'utilisation d'un pare-vapeur rapporté

voire impossible d'assurer la continuité du pare-vapeur en kraft incorporé à l'isolant, puisqu'il sera situé en dessous. Vous pouvez utiliser du film PE ou PP de 100 micromètres d'épaisseur au minimum, de perméance inférieure ou égale à 0,06 g/m².h.mmHg, ou un pare-vapeur hygrorégulant. Posez-le directement sur le plancher. Les lés doivent se chevaucher sur une largeur minimale de 10 cm et être étanchés avec un adhésif pare-vapeur. À chaque canalisation traversante, assurez la continuité du pare-vapeur avec des œillets adhésifs. Assurez l'étanchéité périphérique au niveau des parois verticales avec un cordon continu de mastic adhésif d'étanchéité. Si un surplancher est prévu au-dessus de l'isolant, le pare-vapeur est également obligatoire. Naturellement, si vous utilisez un pare-vapeur indépendant, choisissez un isolant sans pare-vapeur intégré.

L'isolation entre solives ou fermettes

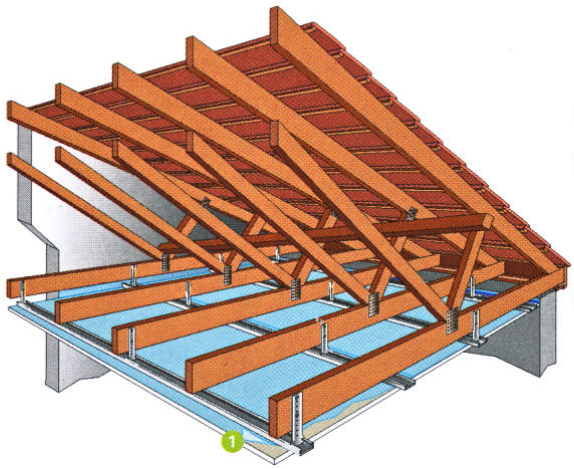
© Ursa

Dans les constructions récentes, le plancher haut est souvent inexistant. Il faut alors réaliser un plafond rapporté sous les fermettes et réaliser l'isolation par le dessus. La méthode est simple, économique et rapide. Elle vaut également pour une isolation directe entre solives, en l'absence de plancher haut.
Vous pouvez réaliser le plafond rapporté de manière traditionnelle (voir page 565). Il assurera l'étanchéité à l'air du plafond et à la vapeur d'eau par convection. Si le parement est composé de lambris, l'étanchéité à l'air ne sera pas assurée. Il faut donc installer au préalable un pare-vapeur continu, comme un film polyéthylène, polypropylène ou mieux, un pare-vapeur hygrorégulant. Couvrez l'intégralité de l'ossature et assurez l'étanchéité entre les lés et aux jonctions avec les maçonneries. Cette solution est valable également avec un parement en plaques de plâtre pour assurer l'étanchéité à la vapeur d'eau par diffusion, ce qui n'est pas le cas avec le papier kraft, discontinu, des rouleaux d'isolant.

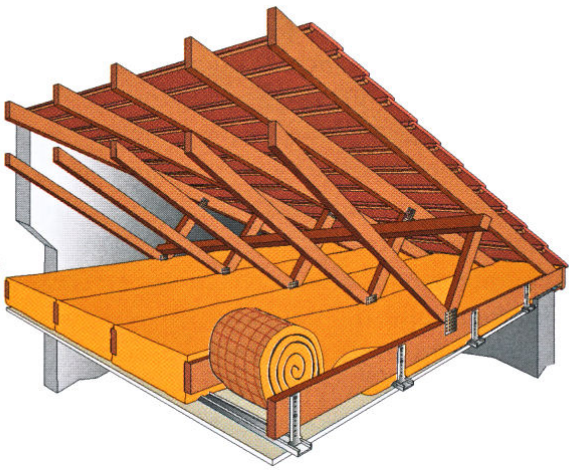
On utilise généralement un isolant en rouleaux. Pour les combles, il est judicieux de le choisir également avec de bonnes performances acoustiques. Son épaisseur doit être égale ou supérieure à la hauteur des solives ou des entraits des fermettes. Posez-le jusqu'à la panne sablière et recouvrez-la.
Pour circuler facilement sur les solives ou les entraits sans risquer une chute à travers le plafond rapporté, créez une circulation, comme précédemment.
Après avoir majoré la largeur correspondant à l'espace entre solives de 2 cm, découpez l'isolant directement dans son emballage (figure 361). Déroulez l'isolant, pare-vapeur vers le bas, entre les solives.

Pour des performances thermiques élevées, n'hésitez pas à installer une seconde couche d'isolant. Deux méthodes sont alors possibles. La première consiste à placer la seconde couche d'isolant perpendiculairement à la première, sans pare-vapeur et à lés bien jointifs.
Il est également possible d'intervenir avant la réalisation du plafond rapporté.

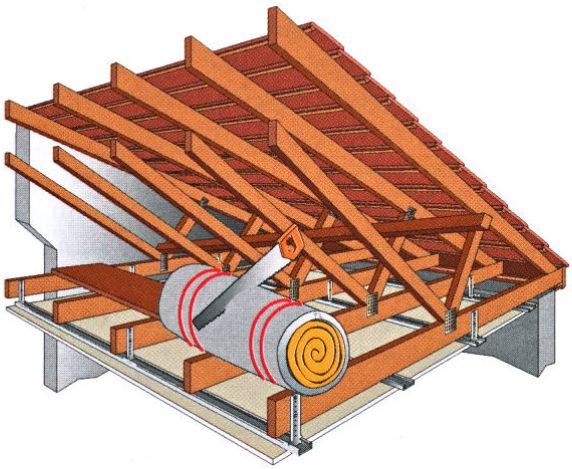
Isolation de combles perdus entre fermettes ou solives



1 - Un faux-plafond en plaques de plâtre vissées sur une ossature métallique est installé sous les fermettes à l'aide de suspentes métalliques. Vous pouvez installer un pare-vapeur hygrorégulant continu entre l'ossature et les plaques de plâtre 1.



3 - Déroulez l'isolant entre les fermettes, pare-vapeur du côté chauffé. Si vous avez choisi un pare-vapeur hygrorégulant continu, utilisez un isolant sans pare-vapeur. Ne collez pas l'isolant à la couverture, ménagez un espace minimal de 2 cm pour la ventilation.



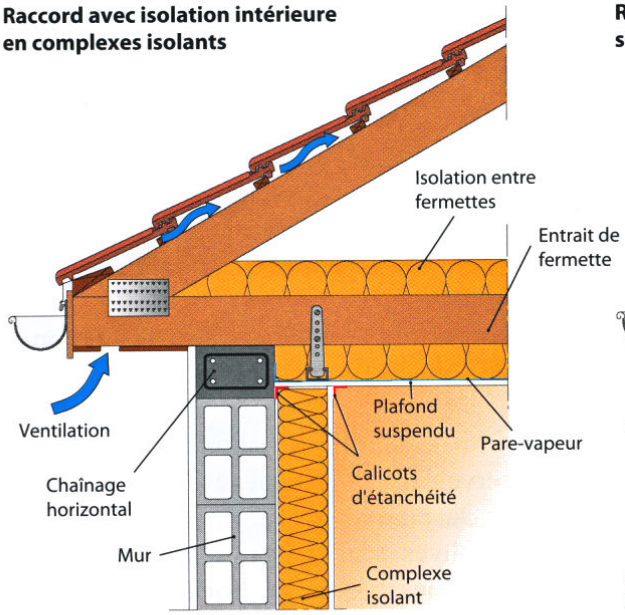
2 - Placez des panneaux de bois pour vous déplacer facilement sur les solives. Découpez directement le rouleau d'isolant dans son emballage, de la largeur entre fermettes (ou solives) majorée d'un ou deux centimètres.

4 - Dans le cas d'une isolation entre solives, si l'épaisseur d'isolant nécessaire dépasse la hauteur des solives, vous devrez poser une seconde couche d'isolant (pose croisée), sans pare-vapeur.

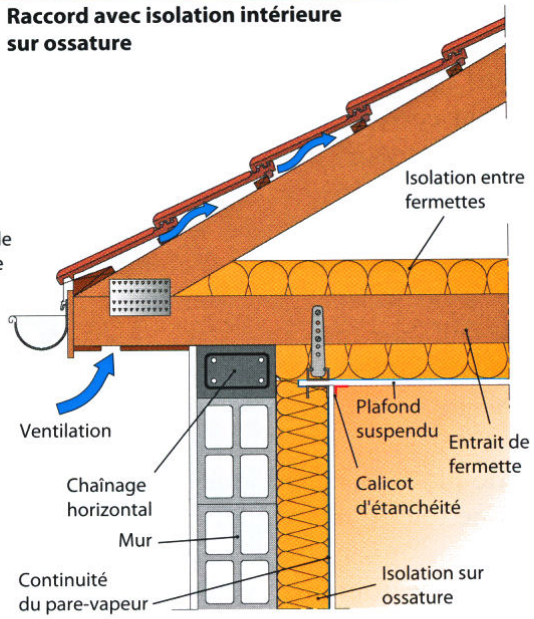
Figure 361 : L'isolation de combles perdus entre fermettes ou solives

Les points singuliers d'une solation de combles perdus entre fermettes ou solives

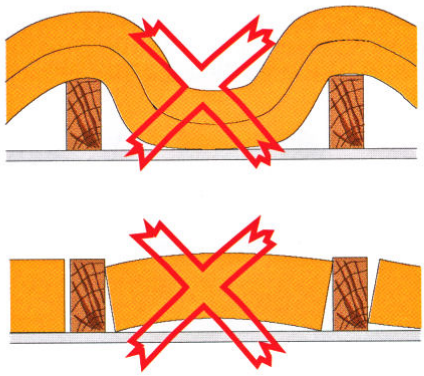
Raccord avec isolation intérieure en complexes isolants



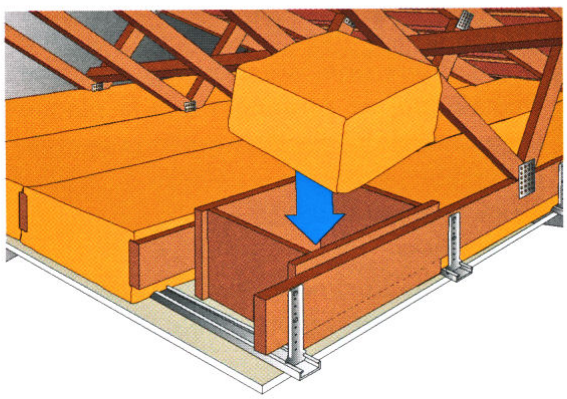
Raccord avec isolation intérieure sur ossature



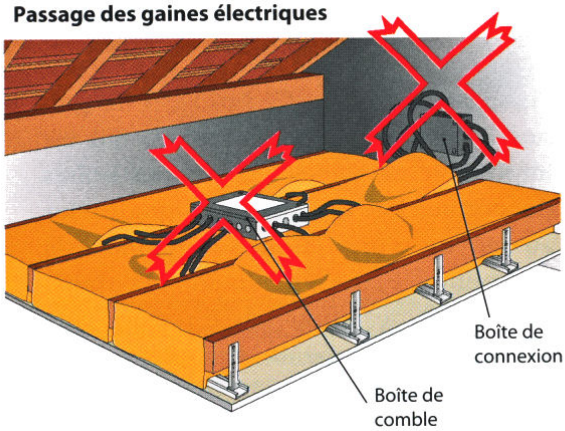
Les techniques à ne pas suivre



Aménagement d'une trappe de visite



Passage des gaines électriques



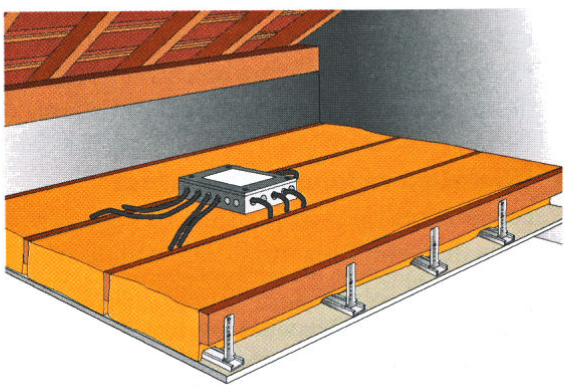


Figure 362 : Les points singuliers d'une isolation de combles perdus entre fermettes

Dans ce cas, placez une première couche d'isolant sur l'ossature métallique du plafond rapporté, avec pare-vapeur du côté chauffé. L'épaisseur de l'isolant doit correspondre à la hauteur du plénum. Mettez en place la seconde couche d'isolant entre les solives, comme dans la première solution. En revanche, elle ne doit pas être pourvue d'un pare-vapeur. Les deux couches doivent être parfaitement en contact.
Si vous utilisez un pare-vapeur rapporté, mettez-le en place directement sur l'ossature métallique avant la pose des plaques de plâtre, comme pour l'installation sur une toiture rampante (voir page 605).

Comme toujours, veillez à assurer la continuité de l'isolation. Réalisez le plafond rapporté en premier. En cas de doublages collés, plaquez-les au plafond. Pour une isolation sur ossature métallique, ne prolongez pas la plaque de plâtre du plafond jusqu'au mur extérieur. Elle sera arrêté au niveau de la lisse supérieure du doublage sur ossature, en fonction de l'épaisseur d'isolant. Cette solution permettra d'assurer la continuité parfaite de l'isolation (figure 362).

La trappe de visite d'accès au comble doit aussi être isolée avec une épaisseur d'isolant équivalente au reste de l'isolation.
Placez les lignes électriques et les boîtes de raccordement au-dessus de l'isolant.

L'isolation répandue ou soufflée

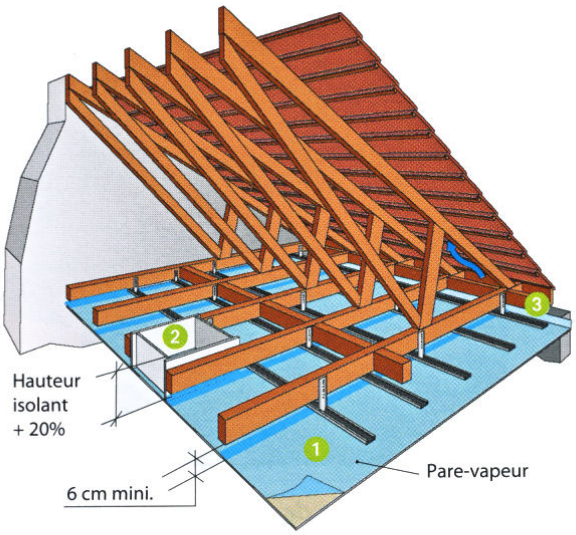
Les isolants en vrac possibles à répandre dans les combles non habitables sont nombreux : laines minérales, ouate de cellulose, etc. Deux méthodes sont couramment utilisées : le soufflage mécanique et l'épandage. Le soufflage nécessite une machine spéciale et offre les meilleures performances thermiques.

© Univercell

Ce procédé est indiqué pour l'isolation entre solives. En premier lieu, il convient de réaliser un plafond rapporté sur ossature métallique, sous le solivage. Réservez un espace de 6 cm au moins entre la plaque de plâtre et le dessous des solives afin de garantir l'enrobage correct des pièces de bois. Le plafond doit assurer l'étanchéité à l'air. S'il y a un risque de mouvement de l'isolant, projetez un liant à sa surface qui constituera une croûte superficielle perméable à la vapeur d'eau.
Pour réserver un espace de ventilation pour la toiture, délimitez la zone de pose de l'isolant en fixant des étrésillons ou des déflecteurs entre les solives ou les fermettes, dans la partie inférieure de la toiture (figure 363), au nu du mur extérieur. Réalisez également un cadre autour de la trappe d'accès, d'une hauteur supérieure à la couche d'isolant.

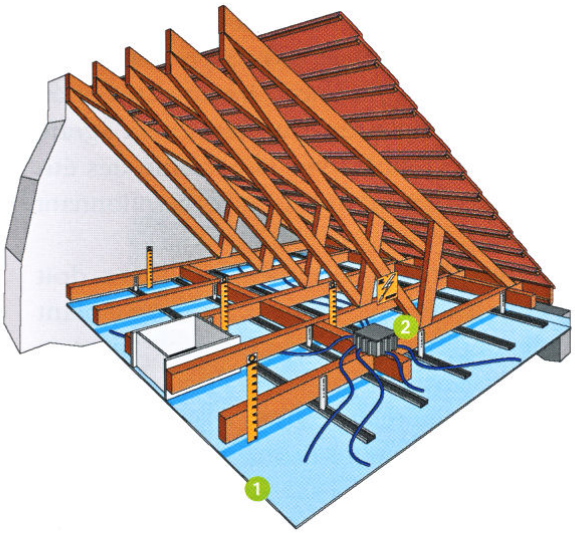
Fixez les boîtes de dérivation et les gaines électriques à la charpente. S'il est impossible de déplacer certaines boîtes de connexion existantes, signalez-les au moyen d'une étiquette agrafée à la charpente. Fixez également les transformateurs des spots basse tension aux éléments de charpente, hors du volume isolé. Les spots eux-mêmes ne doivent pas être au contact de l'isolant. Pour les protéger, utilisez, par exemple, des pots de fleurs en terre retournés.

Isolation par soufflage entre fermettes de combles perdus



1 - Réalisez un faux-plafond (1) capable de supporter le poids de l'isolant. Créez une trappe d'accès (2) qui sera obturée par un isolant manufacturé. Fixez des étrésillons (3) au nu du mur intérieur pour retenir l'isolant. Un pare-vapeur peut être nécessaire.

3 - Après avoir déterminé l'épaisseur nécessaire, procédez au soufflage de l'isolant en le répartissant régulièrement. Conrôlez au fur et à mesure son épaisseur sur les piges graduées et avec une pige de profondeur .



2 - Mettez en place des piges graduées (1) pour contrôler l'épaisseur d'isolant soufflé. Installez les lignes électriques. Si des boîtes de connexion sont placées sous l'isolant, signalez-les avec des affichettes (2).

4 - Un exemplaire de la fiche de chantier est agrafé dans les combles (1). L'ensemble des étiquettes des sacs d'isolant ayant servi aux travaux sont également agrafés sur la charpente (2).

Figure 363 : L'isolation par soufflage de combles perdus entre fermettes

Installez des piges de repère d'épaisseur sur les plaques de plâtre du plafond, agrafées sur les solives. Prévoyez environ cinq piges pour 100 m², judicieusement réparties.

Sous certaines conditions, vous pouvez omettre le pare-vapeur. Cependant, il est indispensable en région montagneuse, en zone très froide ou si une surface de répartition est posée au-dessus de l'isolant (lames de bois, panneaux de particules). Il en va de même si le local présente une forte hygrométrie ou est mal ventilé. La perméance du pare-vapeur doit être inférieure ou égale à 0,06 g/m².h.mmHg. Installez de préférence un pare-vapeur continu (feuille de polyéthylène, de polypropylène ou membrane hygrorégulante) sur l'ossature métallique avant la pose des plaques de plâtre. Pour cela, utilisez un adhésif double-face à longue durée de vie. Assurez sa continuité et son étanchéité aux jonctions avec tous les points singuliers (chevauchement des lés, percements, raccords à la maçonnerie...).
En cas d'écran sous toiture classique, non perméable à la vapeur d'eau, il peut être nécessaire de créer des ventilations supplémentaires dans les pignons.

Les produits adaptés au soufflage (figure 364) bénéficient généralement d'un Avis Technique. Lors de la mise en œuvre, installez la machine hors du comble, le plus près possible de la trappe d'accès. Une personne doit rester près de la machine pour l'alimenter en isolant. Placez des planches sur les solives afin de faciliter la circulation du poseur. Il doit s'équiper des protections individuelles indispensables pour ce type de pose.
Maintenez le tuyau de soufflage à un mètre de hauteur environ (figure 365) et

Figure 364 : La laine de roche pour soufflage

projetez l'isolant devant vous à environ deux mètres. Débutez la pose dans un angle et reculez dès que la hauteur suffisante est atteinte. Respectez la même épaisseur sur toute la surface à isoler. Si la pose est réalisée par un professionnel, il vous fournira une fiche de chantier en trois exemplaires. L'un deux sera agrafé dans le comble avec l'ensemble des étiquettes des produits isolants mentionnant leurs performances.
Rappelons que la trappe d'accès doit être isolée avec un morceau d'isolant de performances équivalentes au reste de l'isolation.
La mise en œuvre d'un isolant par épandage nécessite les mêmes préparatifs que le soufflage. Utilisez un isolant adapté (figure 366). Les règles de pare-vapeur sont les mêmes.
Ouvrez les sacs d'isolant et déversez-les sur le support entre les solives. Avec un râteau, répartissez uniformément l'isolant sur toute la surface, en respectant l'épaisseur nécessaire aux performances thermiques à atteindre.

1 On débute le soufflage dans un angle.

2 On souffle l'isolant autour de la trappe d'accès.

Figure 365 : Exemple de soufflage d'isolants

Si les solives sont destinées à recevoir un plancher, par exemple si vous souhaitez créer un grenier, ne remplissez pas l'intégralité des espaces entre les solives. Réservez une lame d'air de 2 cm entre la surface de l'isolant et la sous-face du plancher.

3 Les combles une fois isolés.

Figure 366 : L'isolant en flocons pour épandage

Les combles aménageables

© Isover

Les combles aménageables peuvent être isolés par l'intérieur ou par l'extérieur. Dans le premier cas, il faut isoler les rampants et les pieds droits. L'isolation monocouche, entre les chevrons, courante autrefois, n'est plus conseillée car elle ne permet pas d'assurer la continuité de l'isolant et offre des niveaux de performances en deçà des exigences réglementaires.

Toutefois, l'isolation monocouche est toujours possible, mais sous les chevrons. Comme il convient de mettre en œuvre une forte épaisseur d'isolant, vous perdrez dans ce cas du volume dans les combles. L'isolation en deux couches, l'une entre chevrons et l'autre sous les chevrons, permet d'obtenir de bonnes performances sans trop diminuer le volume intérieur. La seconde couche nécessite la réalisation d'une ossature rapportée métallique ou en bois pour maintenir l'isolant et supporter le parement, généralement des plaques de plâtre.
Naturellement, en isolant par l'extérieur vous ne perdez pas de volume habitable, en revanche les travaux sont plus importants. Dans les projets de rénovation, les éléments de charpente doivent être sains et secs. La couverture doit apporter une parfaite étanchéité.

En France, pour l'isolation thermique des combles aménagés, la maîtrise du transfert de vapeur d'eau dans la structure de la charpente est peu prise en compte. Or cela est crucial, car le fait d'assurer l'étanchéité à l'air avec une peau de plaques de plâtre correctement réalisée permet de freiner les flux de vapeur par convection, c'est-à-dire entraînés par le flux d'air. En revanche, les flux par diffusion ne sont pas stoppés. La vapeur traverse les plaques de plâtre, sans être arrêtée par le pare-vapeur kraft des rouleaux d'isolant qui sont rarement parfaitement jointifs. De même, il demeure souvent des points de passage au niveau des murs et des pannes. La vapeur profitera du moindre défaut pour transiter et se concentrera aux points faibles (ponts de vapeur).

Cette technique va poser des problèmes de condensation en hiver au niveau de la charpente et de l'isolant notamment pour des combles mal ventilés (ce qui est souvent le cas, en l'absence d'entrées d'air par exemple) ou disposant d'une salle d'eau. On compte sur la ventilation de la toiture (voir page 286) pour évacuer la vapeur d'eau ayant traversé l'isolant, mais l'air froid se charge très peu d'humidité. Le recours à un pare-vapeur rapporté et continu est recommandé dans tous les cas de figure. Il freinera la migration de la vapeur d'eau. Une pose parfaite avec traitement de tous les points singuliers assurera également une très bonne étanchéité à l'air.
Si la toiture n'est pas ventilée, c'est-à-dire avec un isolant directement contre

un écran sous toiture non perméable à la vapeur d'eau, utilisez un pare-vapeur hygrorégulant.

Des tests menés en Allemagne ont permis de montrer un résultat surprenant. Avec un écran sous toiture étanche à la diffusion de vapeur d'eau et un isolant remplissant toute la hauteur des chevrons, si on installe un pare-vapeur continu (non hygrorégulant), la vapeur arrive à pénétrer dans l'isolant de la toiture par diffusion à travers les parois verticales (refend, pignons mal isolés). Les bois de charpente finissent par se dégrader. L'eau de condensation se retrouve alors prisonnière entre deux barrières étanches à la vapeur. C'est pourquoi il est important de traiter aussi les murs de pignon et les refends avec un pare-vapeur efficace.

Pour remédier à tous ces inconvénients, le recours à des films pare-vapeur hygrorégulants est la meilleure solution. Ils sont adaptés à tous les cas de figure, plus performants et plus sûrs que les pare-vapeur étanches traditionnels. Leur action est également bénéfique en été en permettant l'assèchement de la charpente qui laisse alors passer la vapeur d'eau vers l'intérieur de l'habitation.

Il est possible de combiner les films hygrorégulants avec des écrans sous toitures non perméables à la vapeur d'eau, hautement perméables (solution recommandée pour une meilleure efficacité) ou sans écran. Mais dans ce dernier cas, il peut y avoir infiltration d'eau de pluie ou de neige directement dans l'isolant et dans la pièce sous-jacente. Ils permettent également de placer l'isolant sur toute l'épaisseur des chevrons sans ménager de lame d'air, même avec un écran sous toiture étanche à la vapeur d'eau.

La ventilation correcte et continue de cette partie de l'habitation est absolument indispensable.

Si vous réalisez un contre-chevronnage en bois (voir page 291), vous pouvez utiliser un isolant avec pare-vapeur kraft/aluminium à languettes de recouvrement. Fixez l'isolant en agrafant le recouvrement des languettes sur le contre-chevronnage. Collez une bande d'adhésif pare-vapeur sur les raccords. Réalisez l'étanchéité aux jonctions avec les murs avec un mastic d'étanchéité. Vous pouvez également placer des tasseaux d'espacement sur le contre-chevronnage, comme support aux plaques de plâtre, et créer un espace technique pour le passage des gaines électriques, par exemple. Cet espace évitera également le percement accidentel du pare-vapeur. Cette solution convient dans tous les cas de figure, avec ou sans écran sous toiture. La forte résistance à la vapeur d'eau du pare-vapeur kraft aluminium et sa continuité offrent une bonne protection contre les risques de condensation interne.

Les ossatures métalliques

Les ossatures métalliques sont indispensables pour pouvoir mettre en œuvre une finition en plaques de plâtre ou en lambris. Elles permettent également de désolidariser le parement du support et ainsi de limiter les risques de fissuration dus aux mouvements différentiels des éléments de charpente.

Le système d'ossature le plus courant (figure 367) est très similaire à celui des plafonds rapportés. Il se compose de suspentes métalliques et de fourrures. Il faut fixer les suspentes mécaniquement sur les éléments de charpente (chevrons, arbalétriers...). Cette solution convient

Les systèmes d'ossatures (D'après Placo®)

1 Ossature avec profilés et suspentes

2 Ossature autoportante entre pannes

3 Ossature autoportante en portique

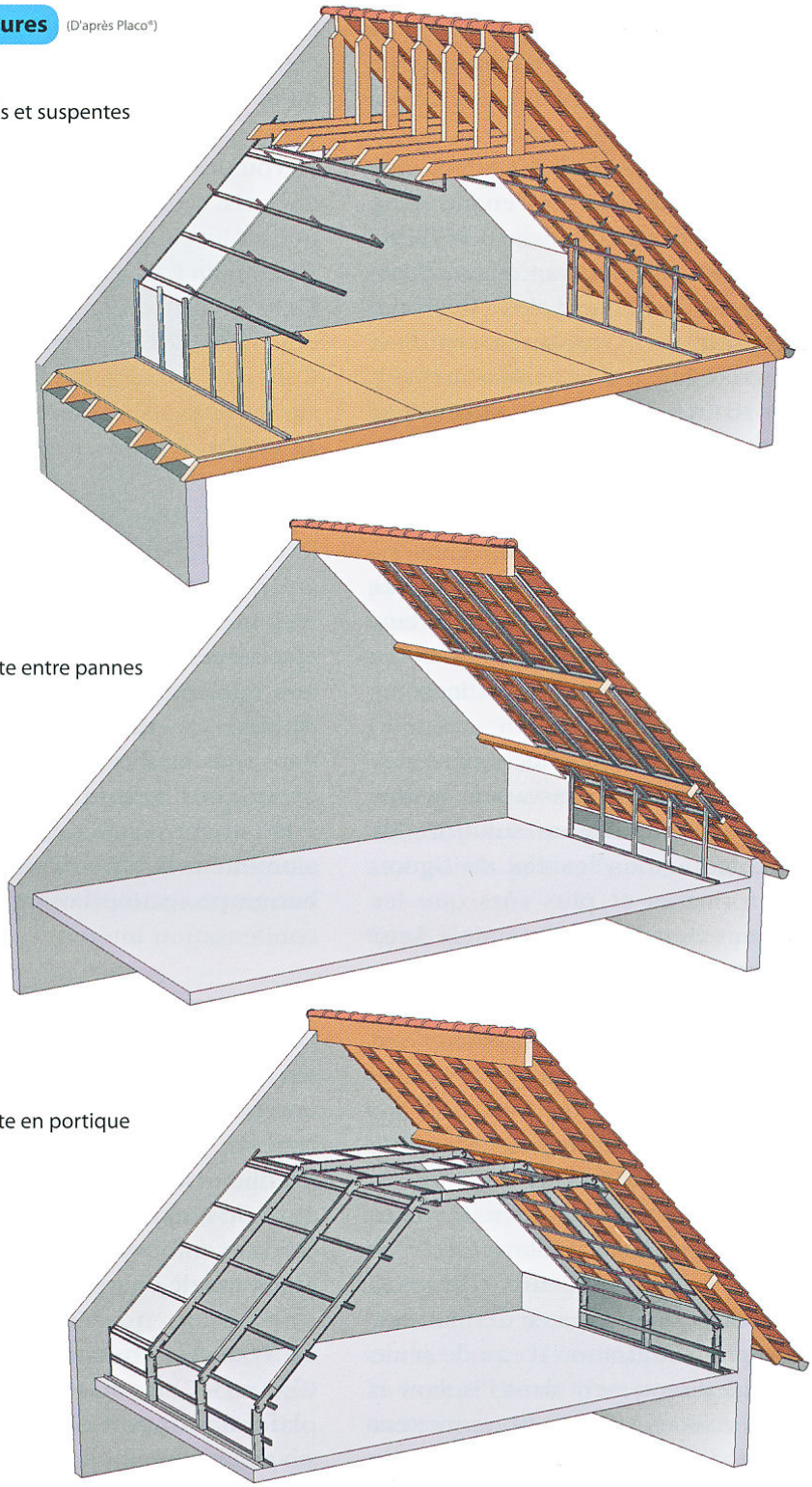


Figure 367 : Les systèmes d'ossatures

pour les charpentes traditionnelles ou industrialisées et pour l'isolation en une ou deux couches. Les pannes resteront apparentes ou non selon l'épaisseur de la seconde couche d'isolant.

Vous pouvez aussi créer une ossature autoportante entre pannes. Le principe se rapproche alors de celui des cloisons. On fixe des rails sur les faces des pannes pour accueillir les montants (M48) simples ou doublés (dos à dos). Ce procédé technique permet de laisser les pannes apparentes, mais limite l'épaisseur de la seconde couche à la largeur des pannes. Il convient uniquement pour l'isolation en deux couches, mais pas pour les charpentes industrialisées.
Enfin, une dernière solution consiste à créer une structure en portique, indépendante de la charpente. Cela est pratique pour les charpentes anciennes et très irrégulières. Les pieds droits, les rampants et les plafonds sont réalisés simultanément. Il faut des profilés spécifiques et des éclisses articulées. La partie supérieure horizontale est fixée aux pannes au moyen de suspentes. Tous ces systèmes facilitent l'habillage avec plaques de plâtre. Leur nombre étant élevé, seule la mise en œuvre du plus courant, avec fourrures et suspentes, est abordée.

De nombreux modèles de suspentes sont proposés par les fabricants : suspentes plates de différentes hauteurs, à choisir selon l'épaisseur de la couche d'isolant, suspentes avec tige filetée et rosace (figure 368), etc. La rosace de la suspente sert au réglage et au maintien du profilé. Ce type de suspentes existe également pour les fermettes. Leur tige filetée est beaucoup plus courte que les autres modèles. En effet, on réalise généralement l'isolation des fermettes avec une seule couche d'isolant entre elles. L'isolant débordant très peu, il n'est pas nécessaire d'utiliser de grandes suspentes. Utilisez toujours des profilés et des suspentes d'un même fabricant pour conserver une parfaite compatibilité entre les éléments et obtenir un résultat solide.

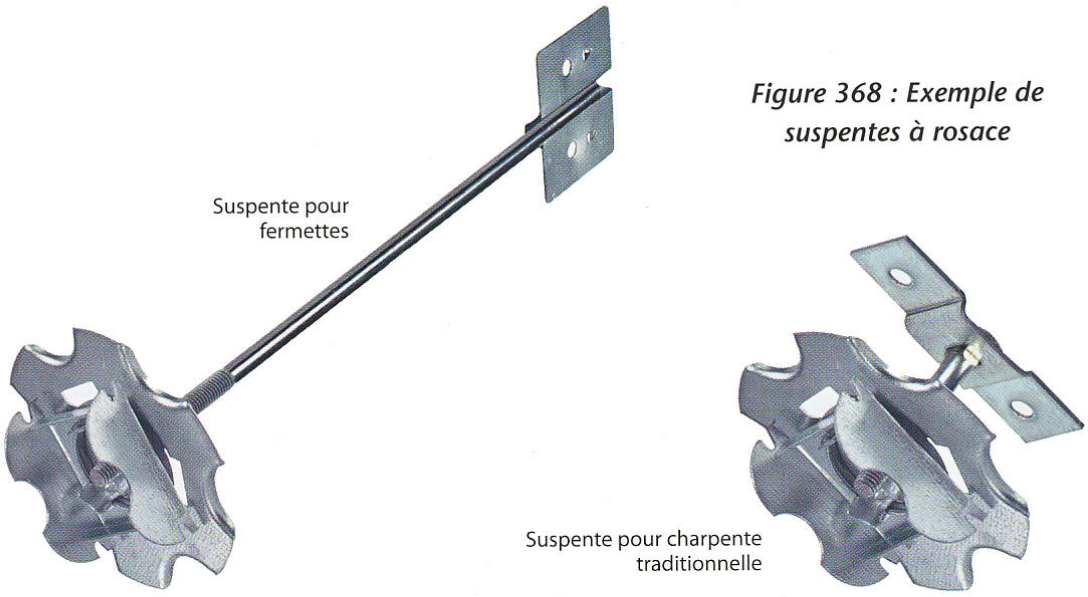


Figure 368 : Exemple de suspentes à rosace

Avant la pose de la première couche d'isolant, vissez les suspentes sur le côté des chevrons (figure 369). Posez la première ligne d'ossatures à 10 cm maximum des pannes. Installez les lignes suivantes avec un pas de 0,60 m au maximum pour un revêtement en plaques de plâtre. Si vous souhaitez poser deux épaisseurs de plaques de plâtre ou des lambris, réduisez le pas à 0,40 m maximum. Vous pouvez fixer les lambris bois directement sur les ossatures métalliques, grâce à des systèmes de clips (figure 370). Dans ce cas, l'étanchéité à l'air n'étant pas assurée par le parement, il faut un pare-vapeur rapporté continu.

Au niveau des pignons, posez la première suspente au maximum à 10 cm (figure 371). Pour les suivantes, respectez un écart de 1,20 m. Pour un revêtement comportant deux couches de plaques de plâtre ou s'il s'agit d'un habillage en bois, ramenez l'écart à 0,60 m. Si vous ne pouvez pas poser la première suspente à 10 cm, fixez mécaniquement une cornière ou une lisse de rive sur la paroi du pignon. Vous y fixerez l'extrémité de la plaque de plâtre. Ce dispositif permet de placer la première suspente à 1,20 m maximum du pignon (ou 0,60 m dans le cas d'une double peau). Effectuez la pose de la même manière que pour les plafonds rapportés.

Figure 369 :
La fixation des suspentes sur les chevrons

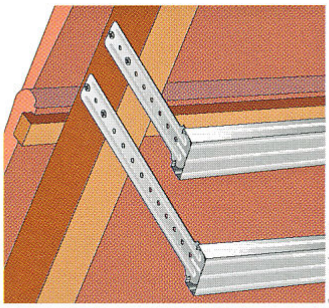
Figure 370 :
Le système pour un habillage en lambris

Fixez les suspentes d'extrémité pour la rangée haute et la rangée basse. Reliez-les par un cordeau. Alignez les suspentes intermédiaires entre les deux rangées, en vous guidant sur le cordeau (figure 372).

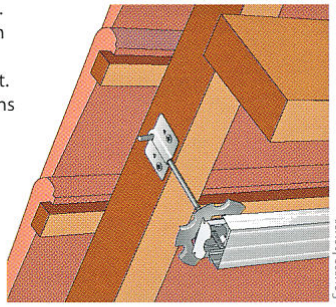
Ensuite, placez un cordeau entre les suspentes intermédiaires haute et basses pour faciliter la pose des suspentes des

Fixation des ossatures métalliques dans les combles aménagés

Types de suspentes

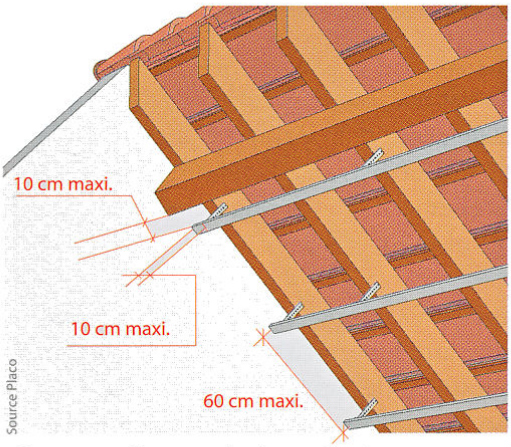


Suspentes plates classiques. Leur longueur est choisie en fonction de l'épaisseur de l'isolant nécessaire au projet. Elles sont fixées aux chevrons avec deux vis TTPC 35.

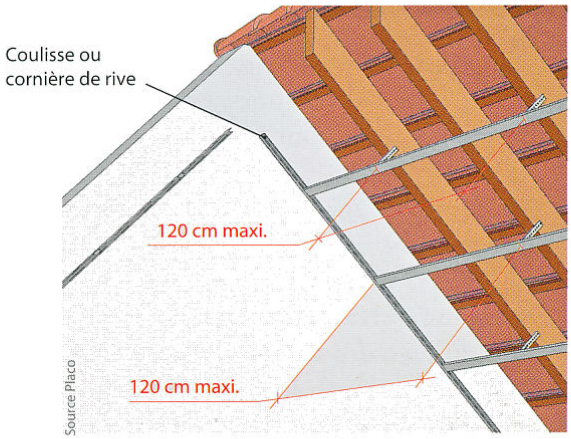


Suspentes à tige filetée et rosace de réglage. La rosace permet le maintien de l'isolant. Elle est munie d'un cavalier pour clipser les fourrures.

Cotes à respecter



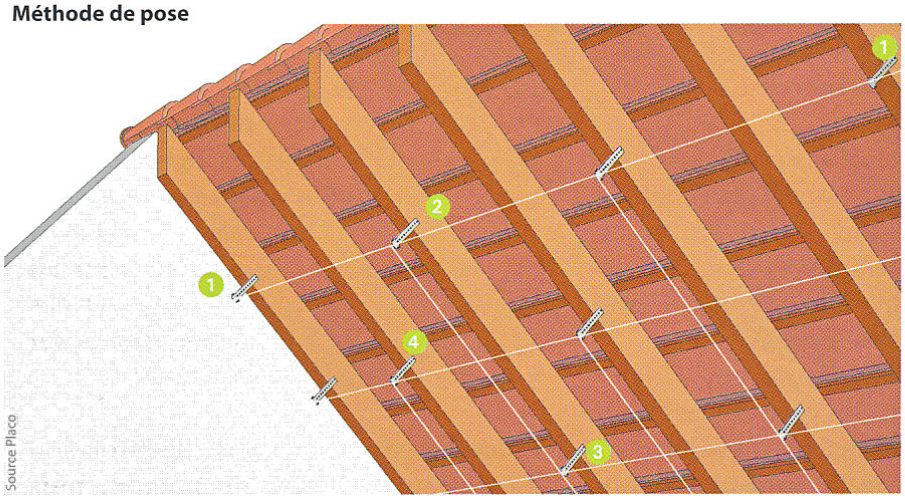
Chevron accolé au mur de pignon : fixez les suspentes d'extrémité à moins de 10 cm du pignon.



Chevron éloigné du mur de pignon : une cornière ou une lisse de rive permet l'appui et la fixation des fourrures.

Règles générales : respectez un espace de 10 cm maximum par rapport à une panne. Les suspentes sont posées au pas de1,20 m pour une charge normale ou 0,60 m pour une charge plus importante (double peau, habillage bois). L'espace entre les rangées de fourrures est de 0,60 m pour un habillage avec une seule plaque de plâtre et 0,40 m pour une finition plus lourde.

Méthode de pose



Fixez les suspentes aux deux extrémités de la rangée haute et de la rangée basse (1). *Reliez-les par un cordeau pour faciliter la pose des suspentes intermédiaires* (2). *Utilisez également un cordeau tendu entre les suspentes intermédiaires pour aligner celles de la même travée* (3). *Procédez de la même façon pour les autres travées* (4).

Figure 371 : La fixation des ossatures métalliques dans les combles aménagés

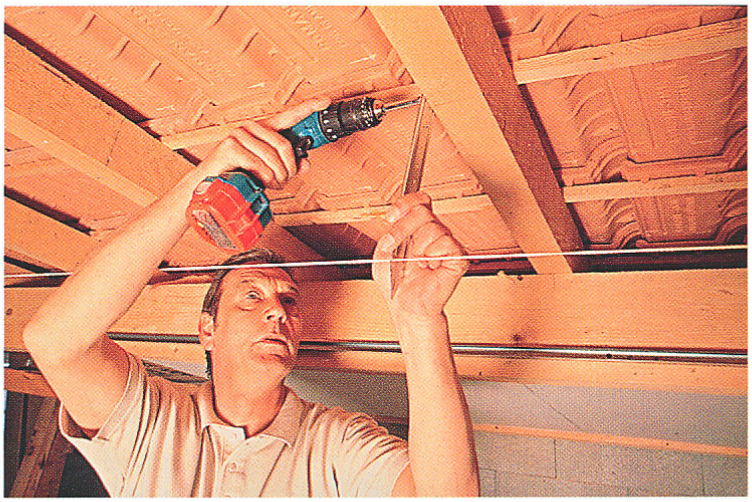


Figure 372 :
La pose des suspentes intermédiaires au cordeau

autres lignes d'ossature. Procédez de la même manière pour les autres travées.

Vous pouvez également réaliser les pieds droits avec des systèmes d'ossature (figure 373). La solution peut différer selon le fabricant. Généralement, on fixe mécaniquement une lisse basse tous les 0,60 m, sur le sol du comble, à l'aplomb du pied droit à isoler. La pose se fait directement sur le sol, s'il est fini ou prêt à recevoir un revêtement souple. Pour renforcer l'étanchéité à l'air, posez au préalable un cordon de mastic d'étanchéité. Sur sol brut, posez au préalable un feutre bitumé ou un film de polyéthylène avec remontés latérales.

Selon les systèmes, vous pouvez utiliser des montants M48 emboîtés dans la lisse et vissés aux chevrons, au pas de 0,60 m maximum. Fixez les montants de départ directement sur le pignon ou sur le premier chevron, s'il affleure le pignon.
Un autre système consiste en des raccords d'angles ou des connecteurs multipositions qui permettent de solidariser les montants avec la ligne d'ossature horizontale la plus proche. Notez qu'à la phase de mise en œuvre de l'isolation, il est indispensable de traiter le reste de surface de plancher, située derrière le pied droit, en recouvrant la panne sablière, et naturellement, d'isoler également le pied droit lui-même (figure 374).

Vous devrez apporter une attention particulière aux fenêtres de toit. Elles doivent être munies de tapées d'une largeur correspondant à l'épaisseur de l'isolation et du parement. Placez une ligne d'ossature de part et d'autre du cadre de la fenêtre. Sur les côtés, fixez mécaniquement des coulisses de rive ou des cornières comme support aux rangées d'ossature intermédiaires.

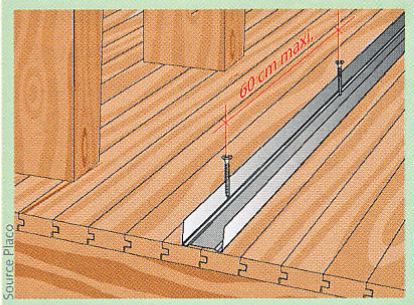
Effectuez la pose des plaques de plâtre perpendiculairement aux lignes d'ossature comme pour les plafonds rapportés (voir page 565). Réalisez l'étanchéité à l'air en plaçant des bandes de joints au niveau des raccords des plaques et des murs pignons. Vous pouvez aussi poser un cordon de mastic acrylique.

Procédez ensuite à la pose de l'isolation au niveau des murs de pignon, puis réalisez éventuellement les cloisons de distribution.

Détails constructifs des ossatures métalliques dans les combles aménagés

Mise en œuvre des pieds droits

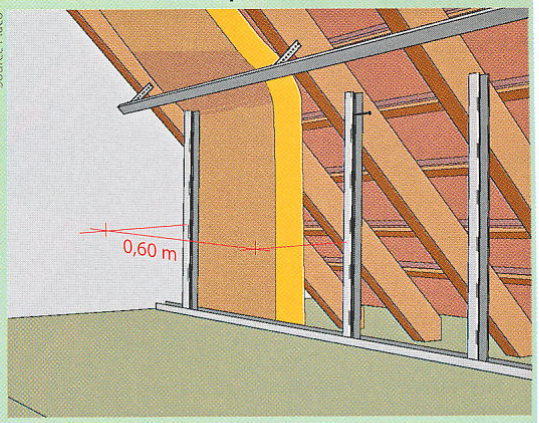
Pose de la lisse basse



Source Placo

Sur sol fini, la lisse basse est fixée mécaniquement au pas de 0,60 m. Dans les locaux humides, placez un joint souple entre le sol et la lisse. Sur sol brut, une feuille de polyéthylène est placée sour la lisse et remonte de 2 cm au-dessus du sol fini.

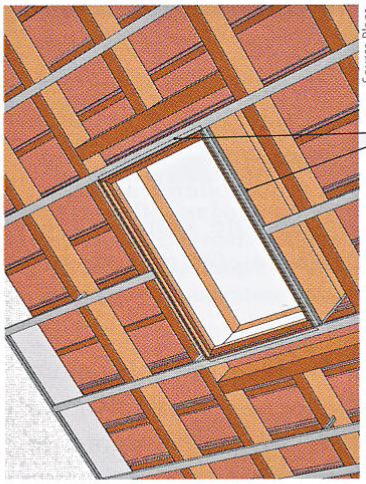
Pose des fourrures (exemple 1)



Source Placo

Les montants sont fixés dans la lisse basse et vissés en tête dans les arbalétriers ou les chevrons. Le pas de pose est de 0,60 m.

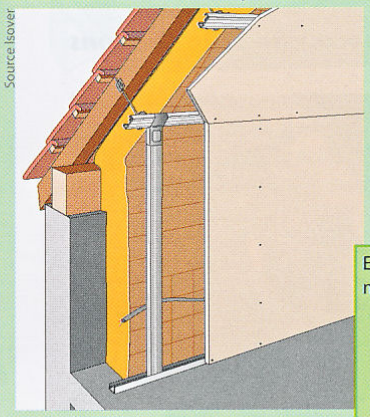
Fenêtres de toit


Source Placo

Coulisses ou cornières de rive

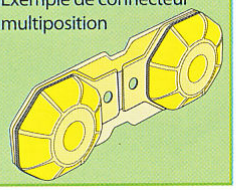
Les fourrures sont interrompues au droit du cadre de la fenêtre de toit et sont fixées sur les coulisses.

Pose des fourrures (exemple 2)


Source Isover

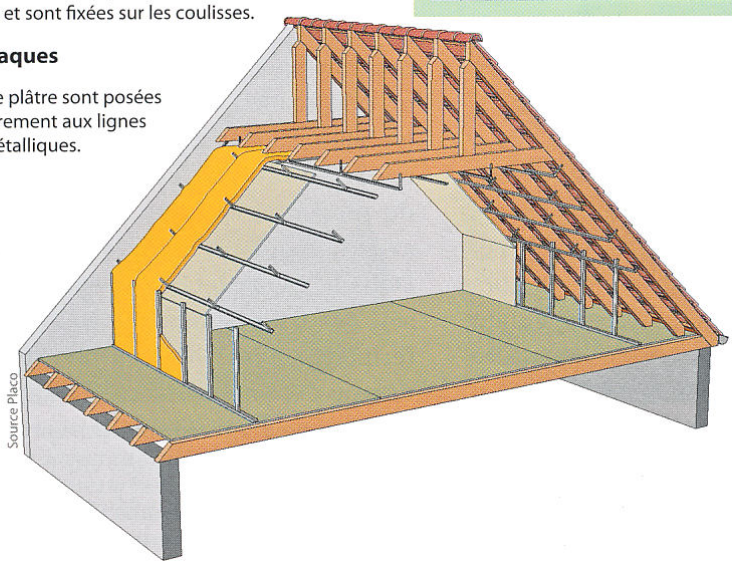
Les fourrures verticales (montants) sont clipsées dans la lisse basse et solidarisées à la fourrure horizontale basse à l'aide de raccords d'angles ou de connecteurs. Le pas de pose est de 0,60 m.

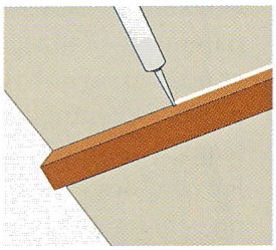
Exemple de connecteur multiposition



Pose des plaques

Les plaques de plâtre sont posées perpendiculairement aux lignes d'ossatures métalliques.

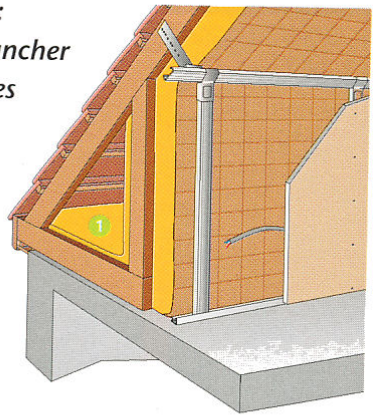

Source Placo



Les raccords entre les plaques de plâtre et les éléments apparents de la charpente sont remplis avec un mastic acrylique.

Figure 373 : Les détails constructifs d'une ossature métallique dans les combles aménagés

Figure 374 : L'isolation du plancher avec fermettes



En présence d'une charpente industrialisée, il est indispensable de débuter l'isolation par la pose d'un isolant sur le plancher sur la partie située derrière le pied droit 1.

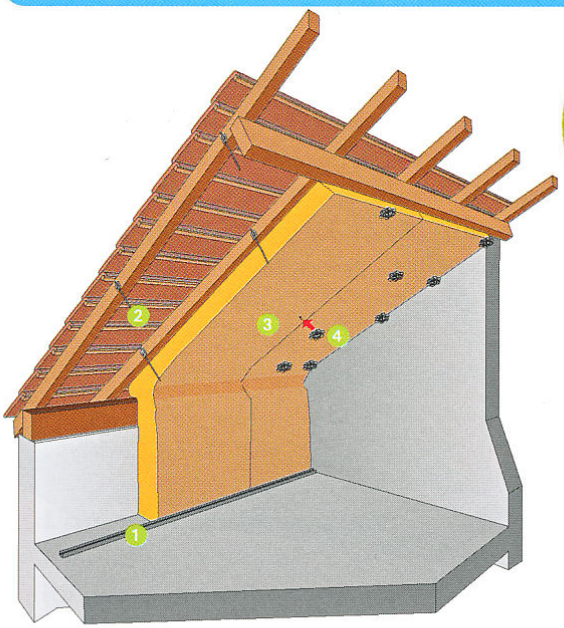
L'isolation monocouche sous chevrons

Utilisez un isolant en rouleaux ou en panneaux semi-rigides prévus à cet effet et pourvu ou non d'un pare-vapeur. Vous pouvez éventuellement utiliser des rouleaux avec pare-vapeur en papier kraft si les combles sont parfaitement ventilés et présentent une faible hygrométrie. Sinon, préférez un pare-vapeur hygrorégulant rapporté que vous poserez sur l'ossature métallique. Si le parement intérieur est en lambris, le pare-vapeur rapporté est obligatoire.

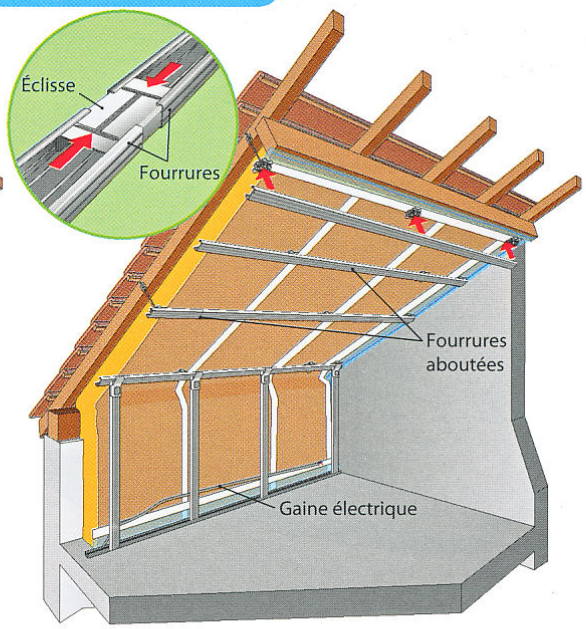
Après avoir posé les suspentes et éventuellement la lisse basse du pied droit, procédez à la pose de l'isolant. Prenez la mesure de l'isolant nécessaire entre les pannes, puis découpez des longueurs majorées de 2 à 3 cm (figure 375). Embrochez l'isolant sur les suspentes, pare-vapeur côté chauffé. Si vous employez un système à rosaces, vissez-les sur les suspentes pour maintenir l'isolant. Isolez les pieds droits avec un isolant semi-rigide, en veillant à assurer sa continuité. Les lés d'isolant doivent être jointifs. Assurez également la continuité du pare-vapeur kraft en recouvrant les joints entre lés et les suspentes avec un ruban adhésif pare-vapeur à longue durée de vie. Le traitement de l'étanchéité des jonctions avec les maçonneries et les pannes est fortement recommandé. Pour ce faire, découpez des bandes de film PE ou PP que vous collerez au ruban adhésif pare-vapeur côté kraft et avec un mastic d'étanchéité côté maçonnerie ou panne.

Installez ensuite les fourrures et les montants, puis procédez éventuellement au réglage de la planéité si les suspentes le permettent. Distribuez les gaines électriques le cas échéant, puis procédez à la pose des plaques de plâtre. Si vous utilisez un pare-vapeur rapporté, mettez-le en place sur l'ossature métallique, avant les plaques de plâtre. Assurez son étanchéité au niveau de tous les percements, du recouvrement des lés et aux liaisons avec la maçonnerie et les pannes.
Dans le cas d'une charpente industrialisée avec un isolant monocouche entre fermettes, vous pouvez choisir la solution avec un pare-vapeur continu, de préférence hygrorégulant. Après la pose de l'isolant, fixez les lés du pare-vapeur sous les fermettes, en employant un adhésif double-face à longue durée de vie. Assurez l'étanchéité au sol avec un mastic adapté. Pour les raccords entre

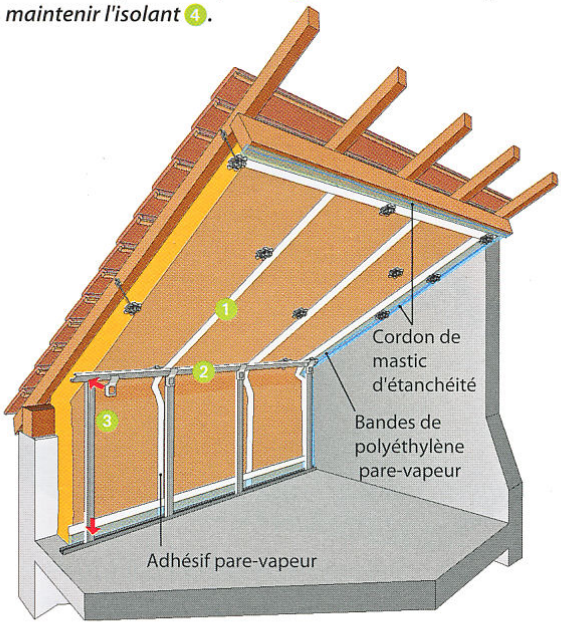
Isolation thermique des combles en une couche sous chevrons



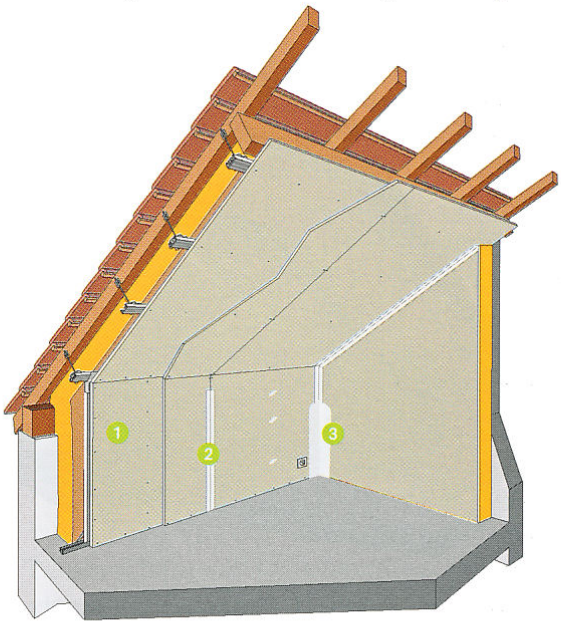
1 - Posez au sol la lisse basse du pied droit (1). Fixez les suspentes sur les chevrons (2). Découpez les lés de laine minérale (longueur nécessaire + 1 ou 2 cm) et embrochez-les sur les tiges des suspentes (3). Vissez les rosaces pour maintenir l'isolant (4).



3 - Clipsez les fourrures horizontales dans les cavaliers des rosaces. Pour abouter deux fourrures, utilisez des éclisses. Les éclisses sont posées décalées d'une rangée sur l'autre. Passez les lignes électriques.



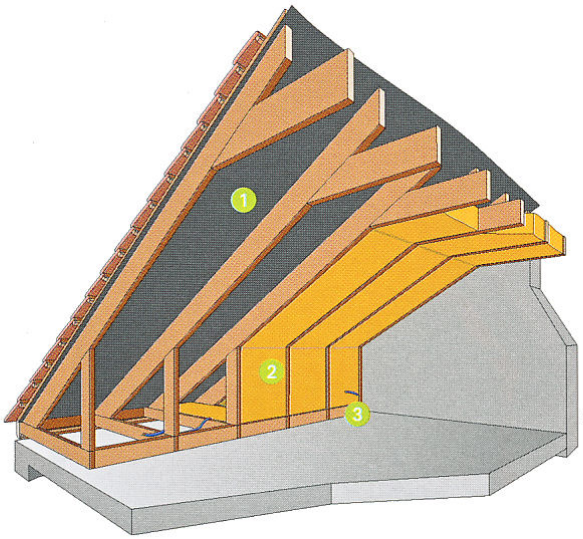
2 - Posez les lés de laine minérale jointifs et assurez la continuité du pare-vapeur au moyen de bandes de PE, de ruban adhésif… (1). Posez la fourrure haute du pied droit (2) puis enclipsez les fourrures verticales (3) dans la lisse basse et solidarisez-les dans la fourrure avec les raccords d'angle.



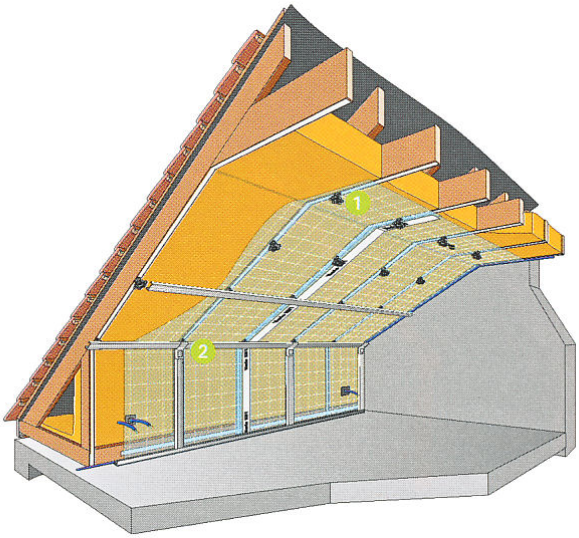
4 - Procédez à la pose des plaques de plâtre (1) en une ou deux couches. Isolez les pignons avec une solution vous permettant d'obtenir les mêmes caractéristiques thermiques. Posez les bandes de calicot (2) et enduisez-les (3) ainsi que les têtes de vis.

Figure 375 : L'isolation thermique monocouche des combles sous chevrons

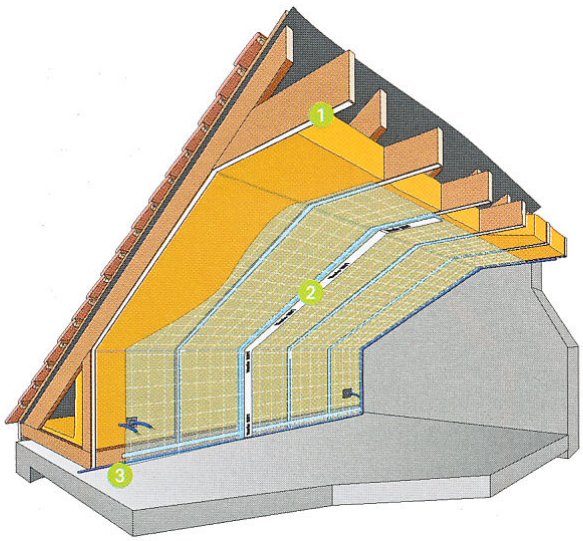
Isolation en une couche avec charpente industrielle



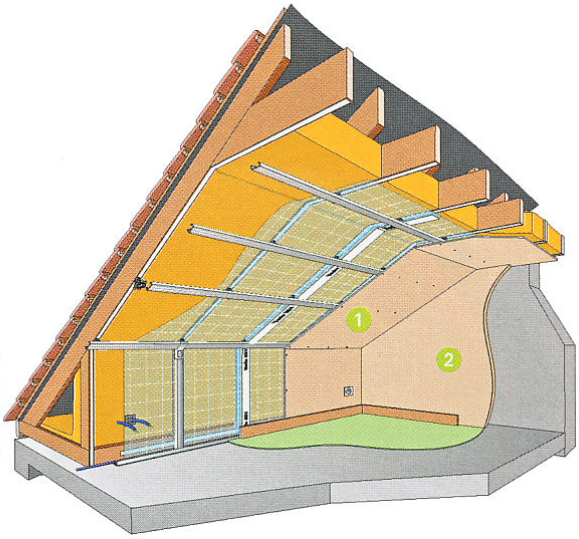
1 - Un écran sous toiture HPV est installé par le couvreur (1). Coincez l'isolant thermique sans pare-vapeur entre les fermettes (2). Passez les gaines électriques dans la sous-pente et faites-les traverser l'isolant (3).



3 - Fixez des suspentes courtes en sous-face des fermettes (1). Clipsez les fourrures sur les rosaces et réglez la planéité de l'ossature. Réalisez le pied droit avec une lisse horizontale et des raccords d'angle (2).



2 - Placez de l'ahésif double face en sous-face des fermettes (1). Collez les lés de pare-vapeur hygrorégulant en chevauchant les raccords et en assurant l'étanchéité avec du ruban adhésif (2). Assurez l'étanchéité périphérique avec du mastic d'étanchéité (3). Placez des œillets sur les gaines.



4 - Fixez les plaques de plâtre sur l'ossature métallique (1). Procédez à l'isolation thermique des pignons (2). Réalisez le jointoiement des plaques de plâtre, puis posez les plinthes et le revêtement de sol.

Figure 376 : L'isolation thermique monocouche avec charpente industrielle

les lés, respectez un chevauchement de 10 cm au minimum et utilisez du ruban adhésif pare-vapeur, de préférence au niveau d'une fermette afin de faciliter le collage de l'adhésif.
Fixez les suspentes basses sur la face visible des fermettes pour permettre l'emboîtement des fourrures horizontales. Fixez ensuite mécaniquement les plaques de plâtre sur l'ossature. Cette solution est intéressante, car elle offre la protection du pare-vapeur en cas de percement du parement, grâce à l'espace créé par l'ossature métallique (figure 376).

L'isolation en deux couches

L'isolation en deux couches est plus longue à mettre œuvre que l'isolation monocouche. Elle est bien adaptée aux charpentes traditionnelles, neuves ou anciennes. Plusieurs solutions de pose sont possibles, avec ou sans pare-vapeur rapporté.

La solution classique

Pour l'isolation entre chevrons, procurez-vous un isolant semi-rigide (auto-portant) ou en panneaux, sans pare-vapeur. Pour la seconde couche, choisissez un isolant en rouleaux ou semi-rigide avec pare-vapeur intégré. Cela est valable pour une toiture sans écran sous toiture ou avec un écran sous toiture classique.

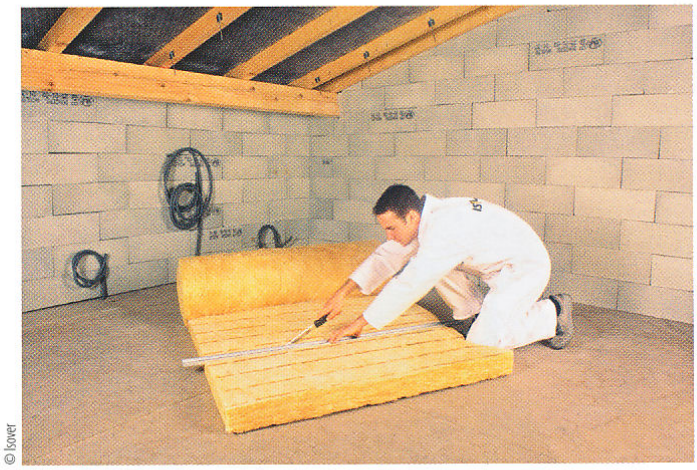
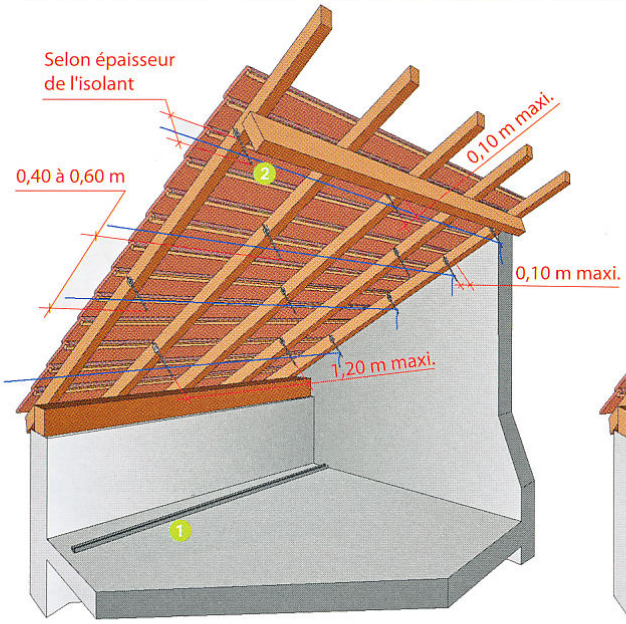


Figure 377 :
La découpe de la première couche d'isolant

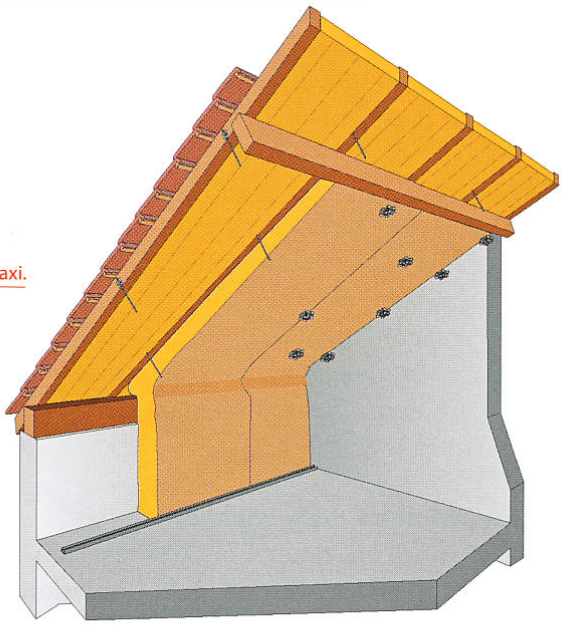
Débutez la mise en œuvre, comme précédemment, par la pose des suspentes et de la lisse basse du pied droit.
Dans le cas d'une couverture en tuiles ou en ardoises avec ou sans écran sous toiture, l'épaisseur de l'isolant doit correspondre à la hauteur des chevrons moins 2 cm. Cette valeur peut être portée à 4 cm pour les toitures métalliques ou en bardeaux bitumés. Mesurez la largeur entre les chevrons. Découpez l'isolant (figure 377) en majorant la largeur de 1 cm. Placez-le entre les chevrons, sa face extérieure doit affleurer à la face visible des chevrons. Isolez ainsi tous les espaces entre chevrons, sans oublier l'arrière des pannes.

Posez ensuite la seconde couche d'isolant, pare-vapeur côté intérieur, en l'embrochant sur les suspentes, puis en vissant les rosaces. Comme précédemment, majorez la longueur des lés de 2 à 3 cm par rapport à la distance entre les pannes. Réalisez l'isolation des pieds droits en respectant la continuité de l'isolation. La pose doit être jointive et le pare-vapeur continu (figure 378). Bien

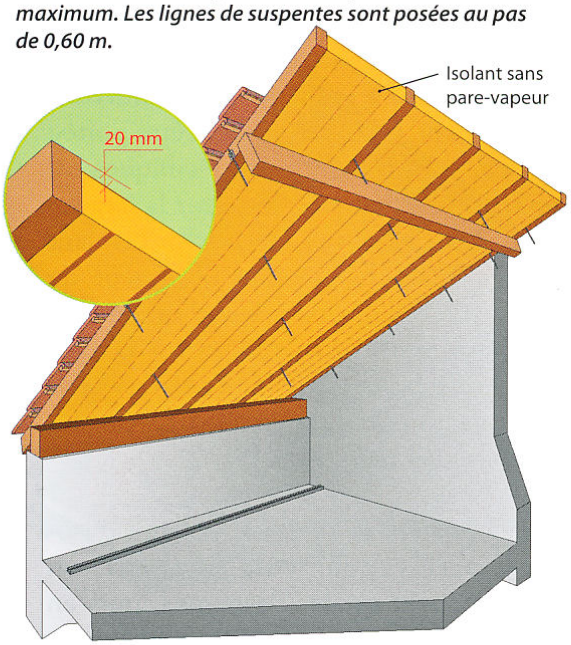
Isolation de combles habitables en deux couches (solution classique 1/2)



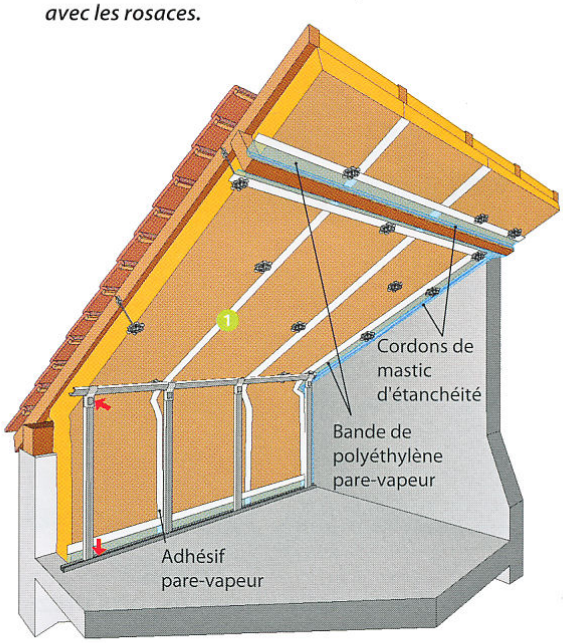
1 - Posez au sol la lisse basse du pied droit (1). Fixez les suspentes sur les chevrons (2). Alignez-les à l'aide d'un cordeau. Les suspentes sont espacées de 1,20 m maximum. Les lignes de suspentes sont posées au pas de 0,60 m.



3 - Mettez en place la seconde couche d'isolant avec pare-vapeur côté chauffé. Les lés sont posés jointifs. L'isolant est embroché sur les suspentes et maintenu avec les rosaces.



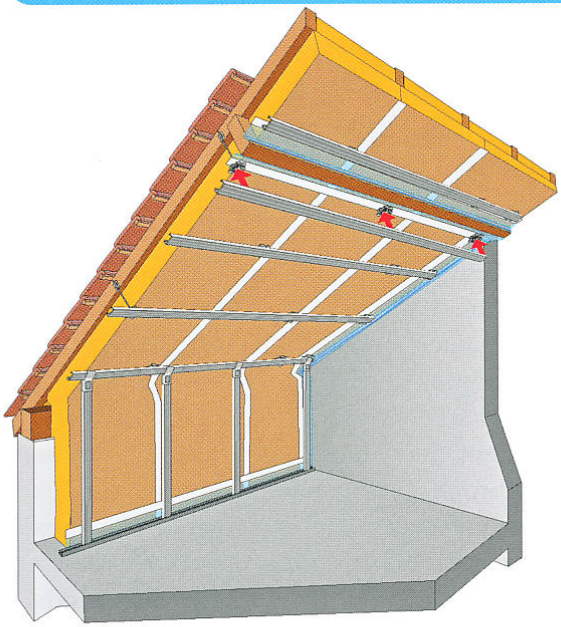
2 - Mesurez l'espace entre les chevrons. Découpez les lés d'isolant de cette largeur augmentée de 1 cm. Ils seront ainsi maintenus légèrement comprimés entre les chevrons. Attention : l'épaisseur de l'isolant doit être inférieure de 20 mm à la hauteur des chevrons.



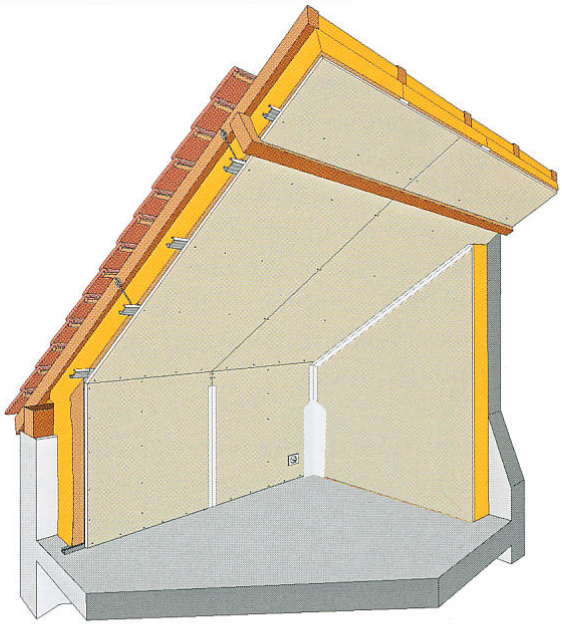
4 - Assurez la continuité du pare-vapeur entre les lés et au niveau de la maçonnerie (1). Clipsez la fourrure supérieure de pied droit (2) puis, enclipsez les fourrures verticales (3) dans la lisse basse et solidarisez-les à la fourrure horizontale avec les raccords d'angle.

Figure 378 : La méthode classique d'isolation de combles habitables en deux couches

Isolation de combles habitables en deux couches (solution classique 2/2)



5 - *Clipsez les fourrures horizontales dans les cavaliers des rosaces. Pour abouter deux fourrures, utilisez des éclisses. Les éclisses sont décalées d'une rangée sur l'autre. Passez les lignes électriques.*



6 - *Procédez à la pose des plaques de plâtre en une ou deux couches. Isolez les pignons avec une solution vous permettant d'obtenir les mêmes caractéristiques thermiques. Posez les bandes de calicot et enduisez-les ainsi que les têtes de vis.*

Figure 378 : La méthode classique d'isolation de combles habitables en deux couches (suite)

que courante, la pose avec pare-vapeur intégré en kraft sans recouvrement n'empêche pas le transfert de la vapeur d'eau par diffusion. Des espaces subsistent au niveau des parois verticales et des pannes.

Il faut veiller à joindre le kraft des lés avec du ruban adhésif pare-vapeur et à parfaire l'étanchéité au niveau des suspentes et aux jonctions avec les maçonneries et les pannes, comme indiqué au paragraphe précédent.
Installez les fourrures et les montants, puis réglez éventuellement la planéité si les suspentes le permettent. Passez les gaines électriques nécessaires entre l'isolant et l'ossature, puis procédez à la pose des plaques de plâtre.

L'isolation avec pare-vapeur hygrorégulant

© Rockwool

Cette solution est valable en neuf, comme en rénovation, avec ou sans réfection de la toiture.
Si l'intervention est possible au niveau de la toiture, le couvreur doit mettre en place un écran sous toiture HPV (haute perméance à la vapeur d'eau),

un contre-chevronnage, puis les liteaux et la couverture. La suite des travaux s'effectue par l'intérieur.
Le pare-vapeur rapporté hygrorégulant permet également d'assurer l'étanchéité à l'air. Les éléments de la charpente ne seront jamais saturés en humidité et la toiture sera respirante. C'est la meilleure solution à l'heure actuelle pour le traitement des combles avec des isolants fibreux. Plusieurs fabricants proposent ce type de produit.

L'isolant pour la première couche doit être semi-rigide, autoportant, sans pare-vapeur et de l'épaisseur des chevrons. L'isolant de la seconde couche n'a pas de pare-vapeur. Procurez-vous un pare-vapeur hygrorégulant en rouleaux avec les accessoires de mise en œuvre : ruban adhésif spécifique pour la liaison des lés, du mastic joint d'étanchéité, de l'adhésif double face, de la bande adhésive renforcée et des œillets adhésifs pour le passage des gaines électriques (figure 379).

Pour la mise en œuvre (figure 380), découpez les panneaux de la première couche d'une largeur supérieure de 1 cm à l'espace entre chevrons. Insérez-les dans tous l'espace entre les chevrons jusqu'à l'écran sous toiture et en affleurement de la face visible des chevrons. Embrochez la seconde couche sur les suspentes et maintenez-la par les têtes des rosaces. Installez l'ossature métallique (fourrures et montants des pieds droits). Passer les éventuelles lignes électriques.

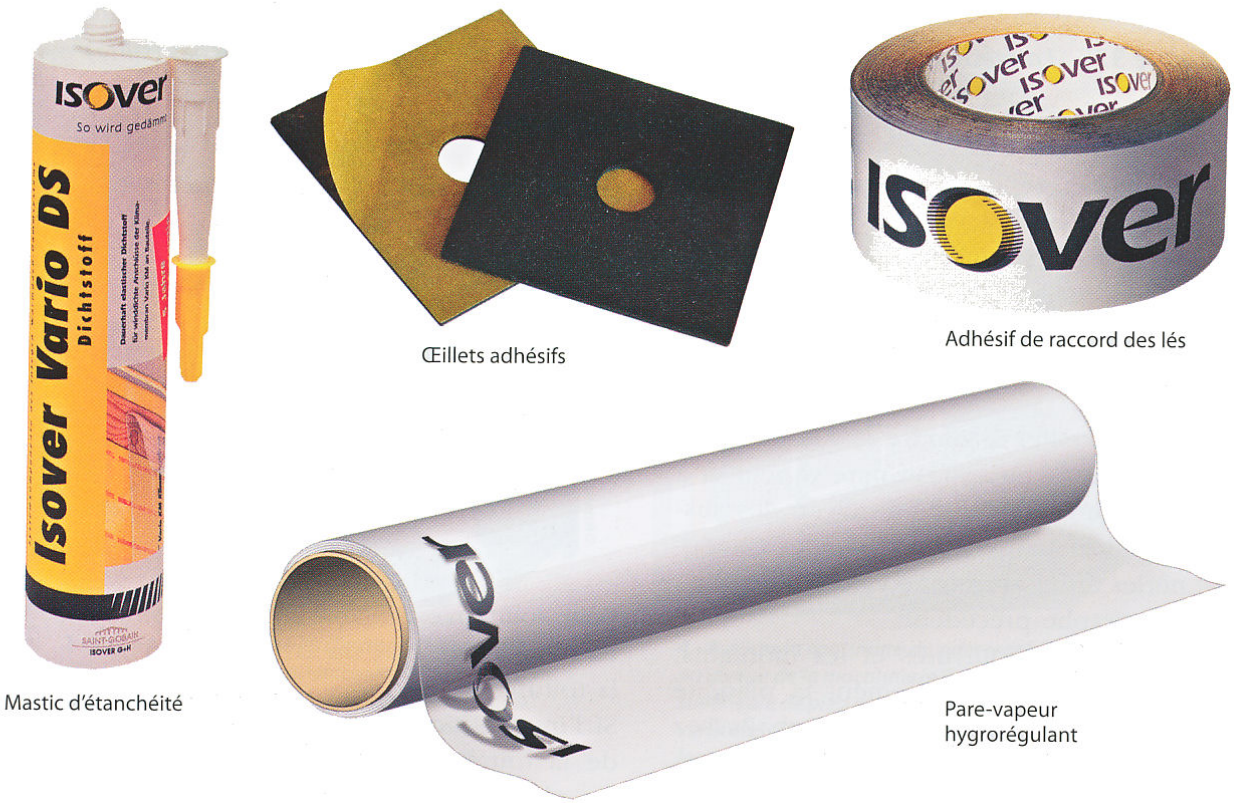
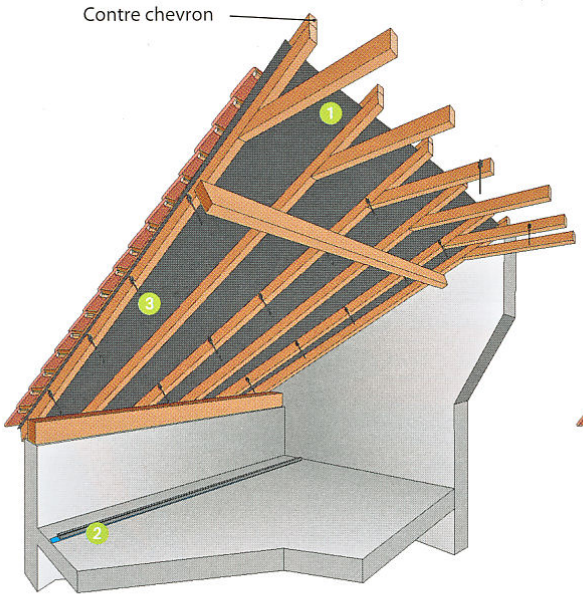


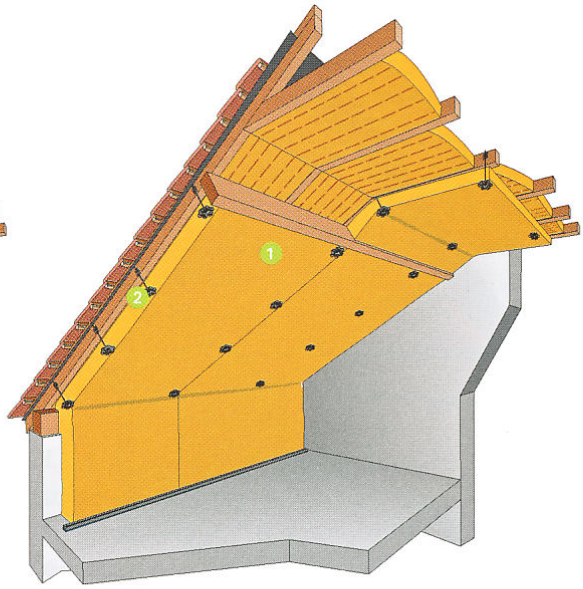
Figure 379 : Le matériel pour la pose d'un pare-vapeur hygrorégulant

Isolation de combles habitables en deux couches avec pare-vapeur hygrorégulant 1/2

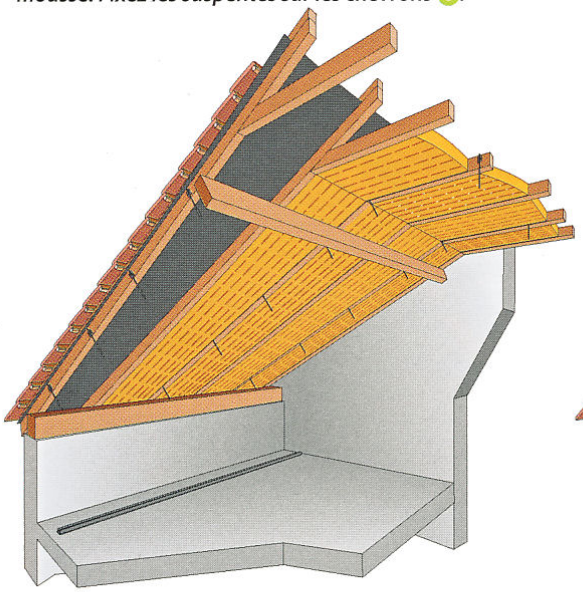
(d'après Isover)



1 - Un écran sous toiture à haute perméance à la vapeur d'eau (HPV) (1) est installé par le couvreur entre les chevrons et un contre chevronnage. Posez au sol la lisse basse du pied droit (2) sur un joint mousse. Fixez les suspentes sur les chevrons (3).



3 - Posez la seconde couche d'isolant (1) (sans pare-vapeur) en l'embrochant sur les suspentes et en la maintenant avec les rosaces (2). Cette seconde couche peut être posée indifféremment horizontale ou verticale. L'isolant doit être posé de façon parfaitement continue.

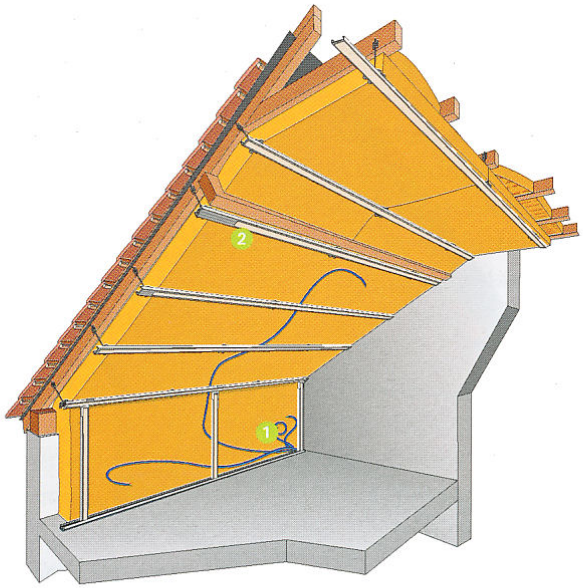


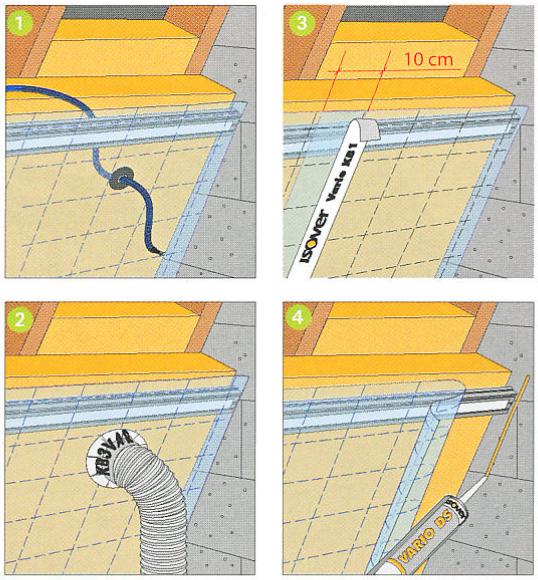
2 - Posez une première couche d'isolant (sans pare-vapeur) entre les chevrons. Découpez les lés d'une largeur supérieure de 1 cm à l'espace entre deux chevrons. Les lés sont ainsi maintenus légèrement comprimés entre les chevrons. Veillez à la parfaite continuité de l'isolant.

4 - Clipsez les fourrures sur les rosaces et effectuez un réglage de planéité en vissant ou dévissant les rosaces. Les fourrures verticales des pieds droits sont clipsées dans la lisse et maintenus à la lisse horizontale à l'aide de raccords d'angle.

Figure 380/1 : L'isolation de combles habitables en deux couches avec pare-vapeur hygrorégulant

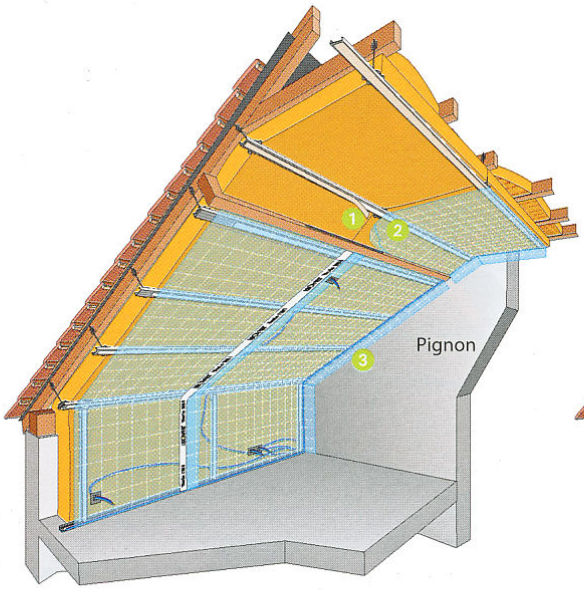
Isolation de combles habitables en deux couches avec pare-vapeur hygrorégulant 2/2

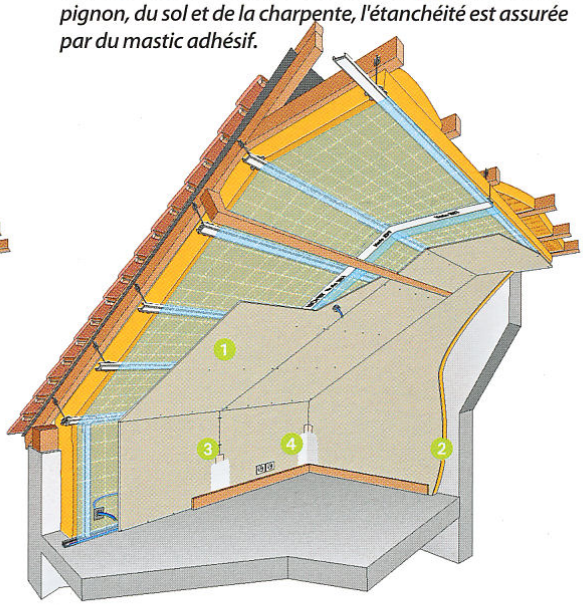




5 - Passez les lignes électriques nécessaires (1). Posez de l'adhésif double face sous la semelle de toutes les ossatures métalliques (2).

7 - (1) L'étanchéité au niveau des gaines électriques est assurée par un œillet adhésif. (2) Le même principe est utilisé pour les gaines de VMC. (3) Les lés se chevauchent de 10 cm et sont réunis par de l'adhésif. (4) Au niveau du pignon, du sol et de la charpente, l'étanchéité est assurée par du mastic adhésif.





6 - Retirez la protection du double face sur la largeur d'un lé (1). Posez le pare-vapeur hygrorégulant (2) perpendiculairement aux fourrures. Laissez un débordement d'au moins 2 cm au niveau du pignon pour la pose du mastic d'étanchéité sur le mur (3).

8 - Procédez à la pose des plaques de plâtre (1) en une ou deux couches. Isolez les pignons avec une solution vous permettant d'obtenir les mêmes caractéristiques thermiques. Posez les bandes de calicot (2) et enduisez-les (3) ainsi que les têtes de vis.

Figure 380/2 : L'isolation de combles habitables en deux couches avec pare-vapeur hygrorégulant

Pour installer le pare-vapeur, équipez les profilés métalliques de ruban adhésif double face, en commençant à partir d'un pignon. Déroulez le lé le long du pignon, soit perpendiculairement aux fourrures, en ménageant un débordement de 2 cm au moins. Appliquez le lé sur les bandes d'adhésif double face. Repérez précisément les points de sortie des gaines électriques. Placez un œillet adhésif à ces endroits. Pratiquez une encoche au moyen d'un cutter, puis passez la gaine à force à travers l'œillet.

Posez le lé suivant en respectant un chevauchement de 10 cm sur le précédent et en utilisant une bande de ruban adhésif spécifique. Procédez ainsi pour toute la surface du comble. Lorsque le pignon opposé est atteint, respectez un nouveau débordement de 2 cm au moins.

Aux jonctions avec les pignons et avec les pannes, réalisez le joint de mastic d'étanchéité continu et collez-y le débordement du pare-vapeur (figure 381). Procédez de la même manière au sol.

Au niveau des fenêtres de toit, posez les lés de pare-vapeur normalement. Pratiquez des découpes pour rabattre le pare-vapeur contre les tapées de la fenêtre de toit. Réalisez l'étanchéité entre les découpes avec des chutes et du ruban adhésif pare-vapeur. Le film doit atteindre le dormant de la fenêtre de toit. Pour le raccord périphérique, faites un joint de mastic d'étanchéité (figure 382).
Dès que l'étanchéité est assurée, vous pouvez passer sans délai à la pose des plaques de plâtre.

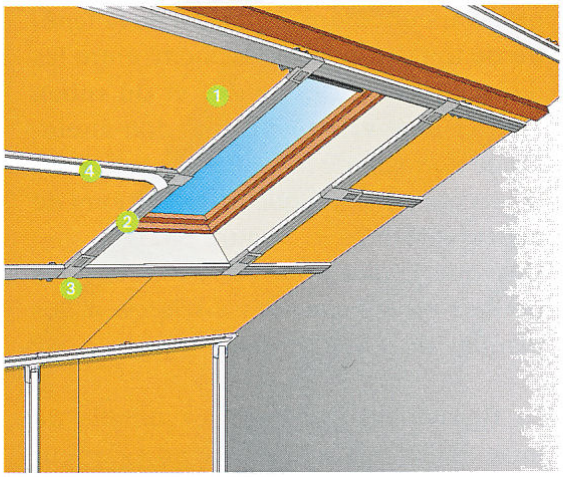
La figure 383 présente les détails de mise en œuvre d'un film pare-vapeur hygrorégulant. Cette solution est valable également dans le cas d'une isolation monocouche entre fermettes industrielles, ainsi que dans le cadre d'une isolation par l'extérieur de la toiture, selon la technique du *sarking*. Le pare-vapeur hygrorégulant trouvera également sa place dans une construction à ossature bois, afin d'assurer l'étanchéité à l'air. Vous pouvez en pourvoir toutes les parois : sols, murs et toiture.

© Rockwool

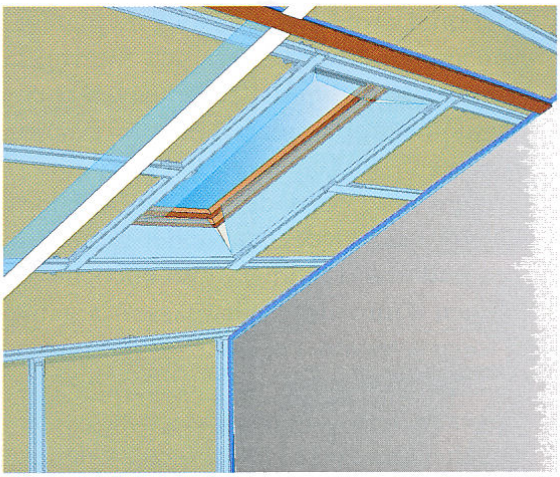
Figure 381 : L'application du mastic d'étanchéité

Pare-vapeur continu et fenêtre de toit

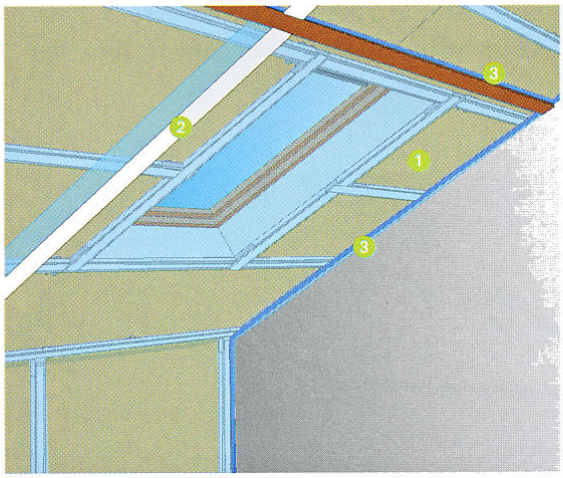
Continuité du pare-vapeur et étanchéité



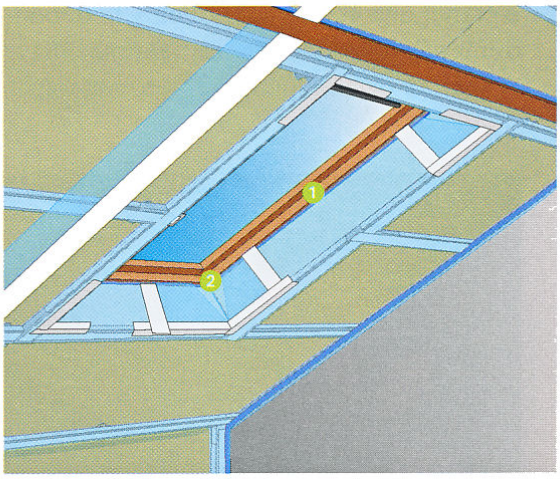
1 - Posez l'isolant thermique en deux couches, calfeutrez correctement les tapées de la fenêtre (1). Installez l'ossature métallique avec un cadre autour de la fenêtre (2). Renforcez-le à l'aide de raccords d'angle ou multiposition (3). Posez de l'adhésif double-face sur les fourrures (4).



3 - Découpez le pare-vapeur au niveau de la fenêtre de toit de façon à pouvoir le rabattre sur les tapées.



2 - Collez les lés du pare-vapeur continu (classique ou hygrorégulant) (1) sur l'adhésif double-face. Les lés doivent se chevaucher de 10 cm et l'étanchéité est assurée avec un adhésif pare-vapeur (2). Assurez également l'étanchéité au niveau des murs et au niveau des fermes avec un mastic d'étanchéité (3).



4 - Placez le pare-vapeur jusau'au dormant de la fenêtre et assurez le collage avec du mastic d'étanchéité (1). Utilisez des chutes pour parfaire la continuité du pare-vapeur dans les angles de la tapée (2). Collez-les avec du ruban adhésif pare-vapeur pour assurer une bonne étanchéité.

Figure 382 : La continuité du pare-vapeur au niveau d'une fenêtre de toit

1 Posez les lés.

3 Réalisez l'étanchéité entre les lés.

2 Passez les gaines électriques à travers des œillets adhésifs.

4 Appliquez du masic d'étanchéité à la jonction avec les murs de pignon.

Figure 383 : Les étapes de pose d'un pare-vapeur hygrorégulant

Pour le passage de gaines de grand diamètre, comme celles des VMC ou de canalisations diverses, utilisez du ruban adhésif renforcé afin de créer une jonction parfaitement étanche (figure 384). Vous pouvez aussi utiliser des manchettes adhésives adaptées au diamètre du tuyau (15, 30, 50, 90, 100 et 120 mm). Choisissez toujours des adhésifs à longue durée de vie pour éviter tout décollement dans le temps et la perte d'étanchéité.

Soignez particulièrement la pose du pare-vapeur hygrorégulant. Ne laissez persister aucune déchirure ou percement. La figure 385 présente quelques exemples de détails de mise en œuvre pour parvenir à un résultat satisfaisant. Les solutions par l'intérieur sont fondées sur une isolation entre chevrons ou fermettes de forte épaisseur.
En posant les lés parallèlement aux éléments de charpente, vous pouvez les agrafer sur les chevrons en profitant d'une bonne surface d'appui pour coller l'adhésif. La pose transversale, par rapport à la structure porteuse, rend plus difficile la pose de l'adhésif, puisqu'il est moins aisé de faire pression. Le pare-vapeur est placé devant la panne sablière et collé sur la maçonnerie pour étancher la fente pouvant se créer à cet endroit.
Au niveau des pignons, il n'est pas nécessaire de tendre le pare-vapeur, mieux vaut prévoir une boucle de dilatation pour compenser les mouvements de l'ouvrage.
Autour des conduits de fumée, respectez une distance de 16 cm au minimum sans aucun élément combustible. S'il s'agit d'une cheminée récente isolée de l'intérieur, prolongez le pare-vapeur jusqu'au conduit. En cas de doute arrêtez le film au niveau de la dalle console ou utilisez un freine-vapeur non combustible. Les boisseaux en béton sont généralement étanches à l'air. Cela n'est pas forcément le cas des boisseaux en terre cuite. Une couche d'enduit permettra d'améliorer l'étanchéité.

La seconde partie de la figure 385 illustre les détails constructifs de l'isolation thermique par l'extérieur des combles, ainsi que ceux des maisons à ossature bois et de l'isolation par l'intérieur.
Y compris aux jonctions avec les menuiseries, il faut veiller à parfaire l'étanchéité en fixant le pare-vapeur directement sur le bâti, indépendamment du fait que

© Rockwool

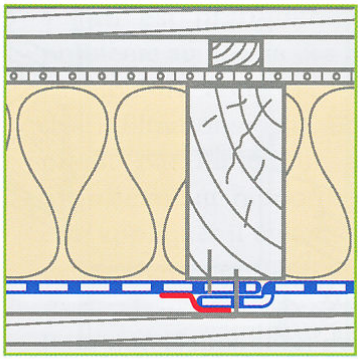
Figure 384 :
L'étanchéité aux jonctions avec les canalisations

Mise en œuvre d'un pare-vapeur hygrorégulant 1/2

Doc. Pro Clima

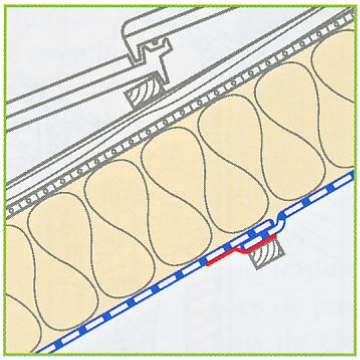
Isolation des combles par l'intérieur

Pose perpendiculaire aux chevrons



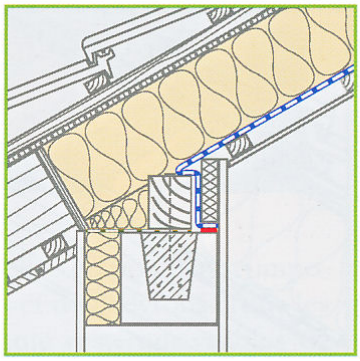
Les lés du pare-vapeur se recouvrent au niveau des chevrons. Un ruban adhésif d'étanchéité vient parfaire le montage.

Pose parallèle aux chevrons



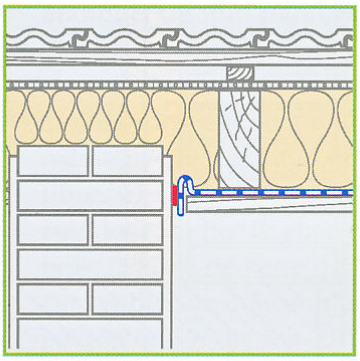
Le collage des lés se chevauchant est plus délicat car on peut moins exercer de pression lors du collage de l'adhésif. Le raccord est recouvert d'un lattis.

Raccord à la sablière



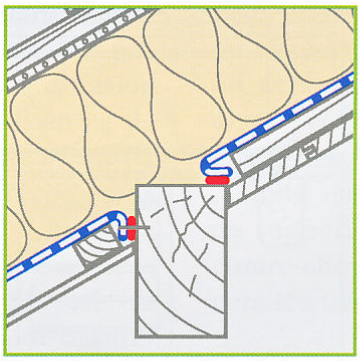
Prévoyez une longueur de dilation sur la sablière. Collez le pare-vapeur sur la maçonnerie avec un mastic d'étanchéité.

Raccord au mur pignon (enduit)



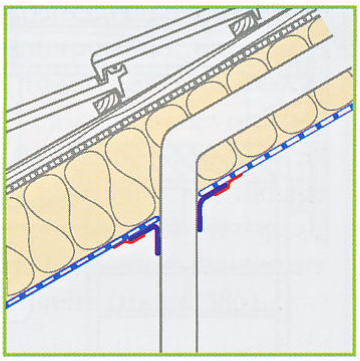
Posez le pare-vapeur avec une boucle de dilatation. Collez-le sur la maçonnerie à l'aide d'un mastic adhésif d'étanchéité.

Raccords aux pannes



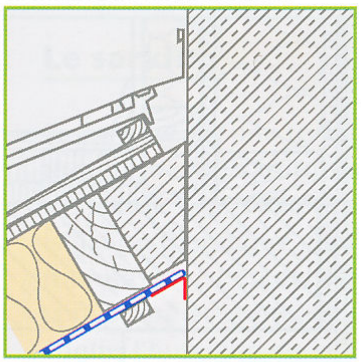
Le pare-vapeur est collé à l'aide d'un mastic d'étanchéité sur la partie latérale ou supérieure de la panne.

Traversée de tuyaux



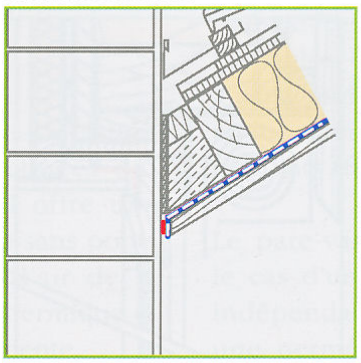
Utilisez une manchette adaptée au diamètre de la canalisation. Le raccord avec le pare-vapeur est assuré par du ruban adhésif d'étanchéité.

Cheminée en éléments lisses



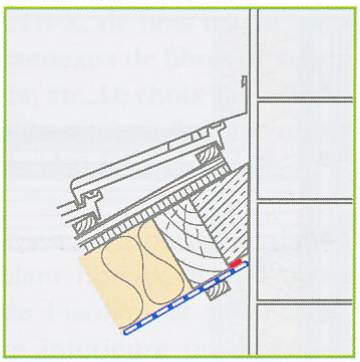
Le pare-vapeur est raccordé au conduit à l'aide d'un ruban adhésif d'étanchéité.

Cheminée enduite



Le pare-vapeur est raccordé au conduit à l'aide d'un mastic adhésif d'étanchéité.

Cheminée non enduite



Collez le pare-vapeur sur la console bétonnée d'isolation du conduit.

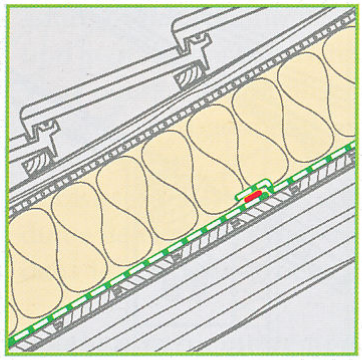
Figure 385/1 : La mise en œuvre d'un pare-vapeur hygrorégulant

Mise en œuvre d'un pare-vapeur hygrorégulant 2/2

Doc. Pro Clima

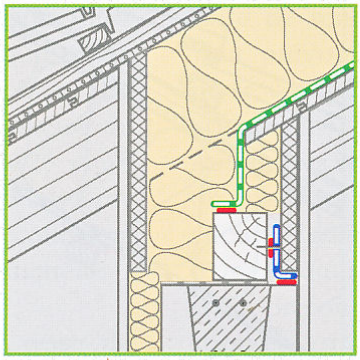
Isolation des combles par l'extérieur (*sarking*)

Pose en partie courante



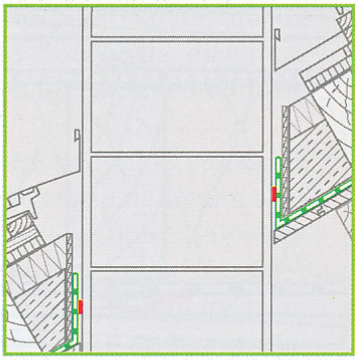
Les lés du pare-vapeur se recouvrent sur le platelage. Ils sont étanchés par un adhésif double face et agraphés sur le raccord.

Raccord au pied de versant



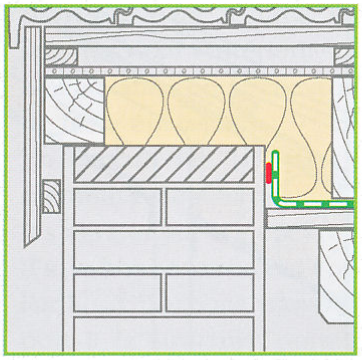
Le pare-vapeur est collé sur la partie supérieure de la panne sablière avec un mastic d'étanchéité. On parfait le montage avec une bande sur le côté de la sablière.

Raccord à un conduit de cheminée



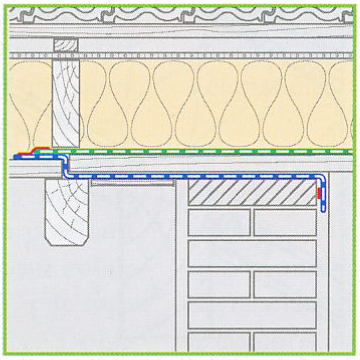
Le pare-vapeur est collé sur le conduit avec un cordon de mastic d'étanchéité.

Raccord au mur pignon (enduit)



Le pare-vapeur est collé sur la maçonnerie à l'aide d'un mastic adhésif d'étanchéité.

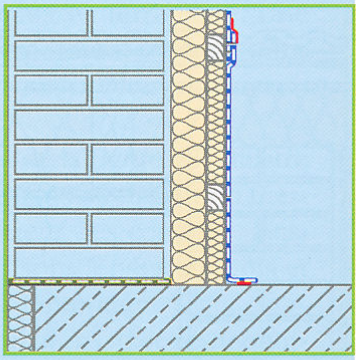
Raccords pignon/rive



Le pare-vapeur est collé à une autre bande qui passe sous le platelage et se raccorde à la maçonnerie.

Isolation par l'intérieur

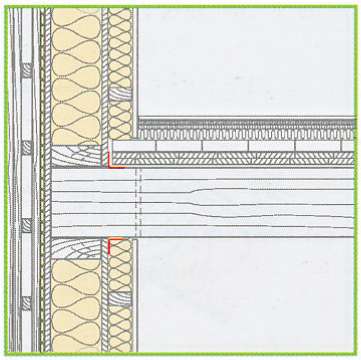
Raccord à une dalle béton



Le pare-vapeur est collé sur la dalle béton (propre et sèche) avec un cordon de mastic d'étanchéité.

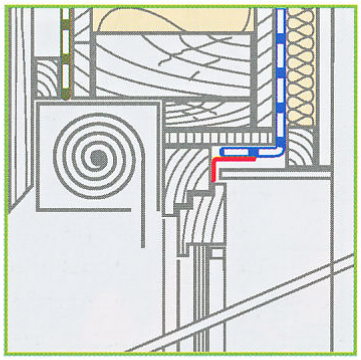
Construction à ossature bois

Raccord ossature/poutres



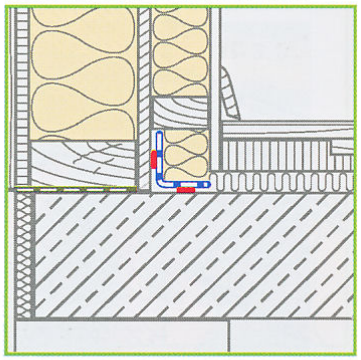
Étanchéité entre la poutre et le panneau OSB de structure à l'aide d'un adhésif collé en entourage.

Étanchéité des menuiseries



Collez le pare-vapeur avec un adhésif d'étanchéité sur tout le pourtour du châssis de la fenêtre.

Raccord ossature/dalle béton



Collez une bande de pare-vapeur entre la dalle béton et le panneau OSB de la structure.

Figure 385/2 : La mise en œuvre d'un pare-vapeur hygrorégulant

chaque menuiserie est pourvue de son propre dispositif d'étanchéité. La mousse expansive ne suffit pas. L'étanchéité à l'air est pratiquement toujours un problème au niveau des points singuliers. La moindre fente ou fissure permettra des infiltrations d'air. En isolation thermique par l'intérieur, un pare-vapeur hygrorégulant rapporté peut également être appliqué, il évitera ainsi tout risque de condensation interne.

Pour que la migration de la vapeur d'eau soit parfaitement respectée, le revêtement intérieur ne doit pas être étanche. On utilise généralement des plaques de plâtre, non recouvertes d'un revêtement étanche ou des lambris. Dans le cas d'une construction bois, il ne doit pas y avoir de couches freinant la diffusion comme des plaques d'OSB. Il en va de même pour l'isolant, il doit être à base de fibres et ouvert à la diffusion comme la cellulose, le lin, le chanvre, les fibres de bois, la laine de verre, la laine de roche... La ventilation mécanique contrôlée est également indispensable pour assurer le confort des habitants et évacuer rapidement les surplus ponctuels de vapeur d'eau (cuisine, douche...).

Le sarking

Le *sarking* est une technique d'isolation thermique des toitures inclinées qui s'effectue par l'extérieur. Il offre une isolation thermique continue sans ponts thermiques, l'étanchéité à l'air de la couverture et la protection thermique et contre l'humidité de la charpente.

Les produits isolants concernés doivent faire l'objet d'un Avis Technique. Le procédé est adapté aux charpentes en

© Rockwool

bois traditionnelles en bon état, composées de pannes et de chevrons. Tous les bois de charpente resteront visibles de l'intérieur.

Le système comprend, de l'intérieur vers l'extérieur : un écran rigide formant plafond, un pare-vapeur ou un freine-vapeur ou un écran d'interposition, un isolant, un écran sous toiture ou une double toiture ventilée, un contre-chevronnage fixé à travers l'isolant et à travers le plafond dans la charpente, des liteaux de support de couverture fixés dans le contre-chevronnage et une couverture ventilée traditionnelle (figure 386).

Le plafond, appelé aussi platelage, est fixé mécaniquement sur les chevrons. Il peut être composé de panneaux de particules CTB-H, de panneaux de contreplaqué extérieur CTB-X, de bois massif, de fibragglos, de panneaux de fibres de bois à liants minéraux, etc. Le choix s'effectue en fonction de l'écartement des chevrons existants (figure 387) ou à créer.

Le pare-vapeur est indispensable dans le cas d'un isolant fibreux. Il doit être indépendant de l'isolant et présenter une perméance inférieure ou égale à 0,005 g/m².h.mmHg. Il peut consister en une feuille de polyéthylène ou de polypropylène de 100 micromètres d'épaisseur minimale. Vous pouvez également

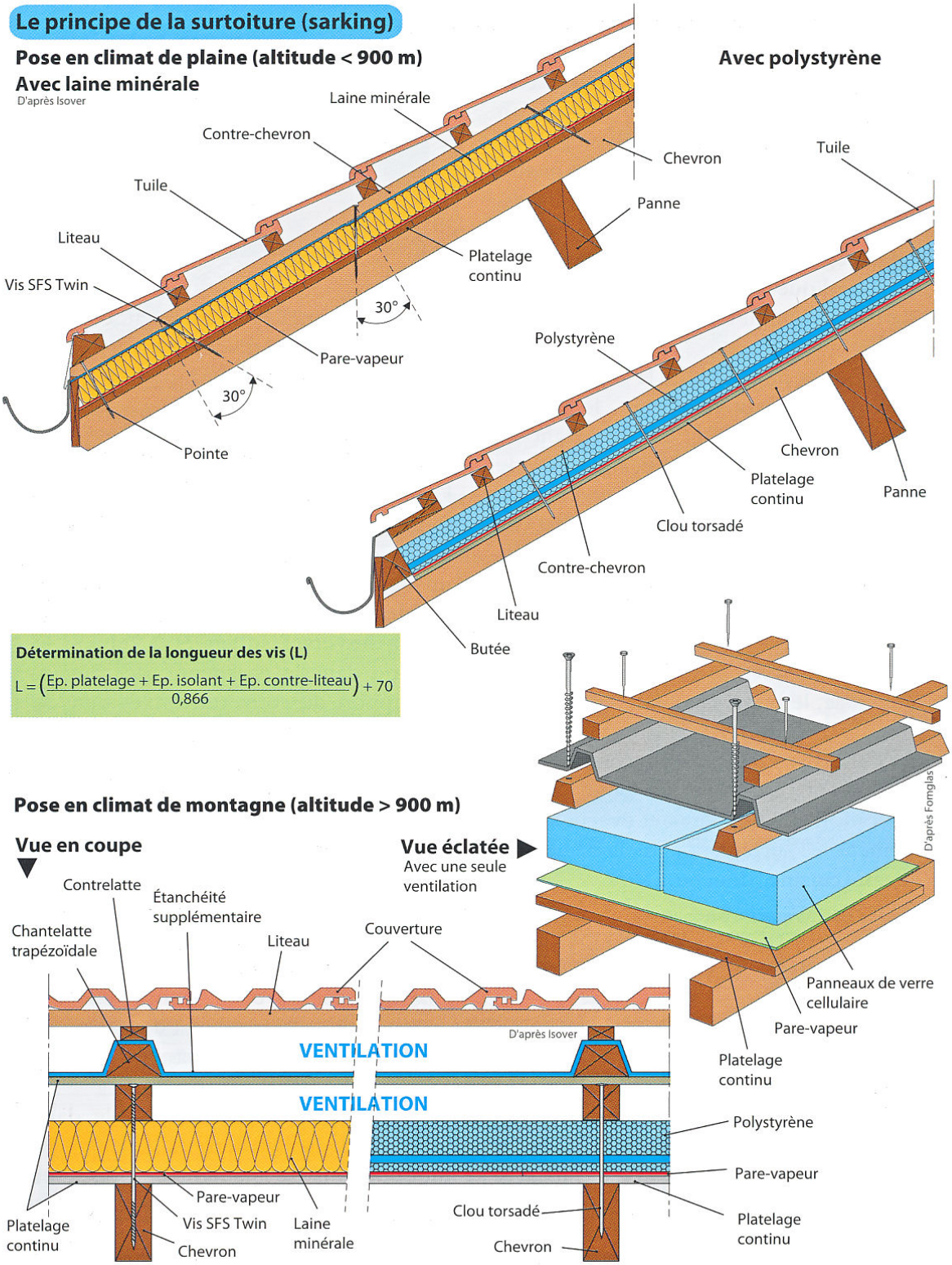


Figure 386 : Le principe du sarking

Exemples de données techniques pour le sarking

Ces données ne sont présentées qu'à titre d'exemple. Pour l'utilisation d'un produit précis, référez-vous à l'Avis Technique le concernant.

Choix du platelage selon l'entraxe des chevrons

Nature du plafond	Épaisseur (en mm)	Entraxe maximal entre les chevrons (en cm)
Bois massif	14 18	80 90
Panneau de particules (CTB-H)	10 12	40 50
Panneau de contreplaqué (CTB-X)	12 14	80 90
Panneau de particules perforé pour correction acoustique	19	50
Fibragglo	25	50

Entraxe maximum (cm) entre les pointes torsadées (sarking avec polystyrène, entraxe des chevrons de 60 cm)

Pente de la couverture	Charges descendante de neige normale au sol (en daN/m²) (charge normale de neige au sol telle que définie par l'additif N84 (août 1987) aux Règles NV en vigueur)																			
	30			**60**			**95**			**125**			**155**			**185**			**215**		
	Poids propre de la couverture et de son support (en daN/m²)																			
(P en %)	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**	**30**	**60**	**90**
P < 15	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
15 < P ≤ 25	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	45	40	45	40	35
25 < P ≤ 40	50	50	50	50	50	50	50	50	40	40	40	30	40	35	30	25	30	25	30	25	25
40 < P ≤ 60	50	50	50	50	50	40	50	40	30	30	30	30	30	30	25	25	25	20	20	20	20
60 < P ≤ 100	50	50	50	50	40	30	40	30	30	30	25	25	25	20	20	20	20	15	20	15	15
100 < P ≤ 173	50	50	40	50	40	30	40	30	30	30	25	25	30	25	20	25	20	20	20	20	15

Entraxe des fixations pour sarking avec laine minérale pour un poids de couverture de 60 daN/m² (Source Isover)

Longueur des vis (en mm)	Entraxe minimal des tire-fonds (en mm)
230	270
250	290
270	310
300	340
320	360
340	380

Entraxe maximal en climat de plaine (0 à 900 m d'altitude)						
Pente de la toiture (P en %)	Altitude 200 m — Entraxe des chevrons (en cm)			800 m — Entraxe des chevrons (en cm)		
	45	60	90	45	60	90
30	90	90	60	75	65	55
40	90	90	75	70	65	55
45	90	90	65	70	65	55

Entraxe maximal en climat de montagne				
Entraxe des chevrons (en cm)	Altitude (m)			
	900	1 000	1 200	1 400
50	75	75	75	65
60	75	75	70	54
70	75	75	60	46

Figure 387 : Exemples de données techniques pour le sarking

utiliser un pare-vapeur hygrorégulant et un écran sous toiture HPV.
Pour un isolant à cellules fermées, comme le polystyrène extrudé, le pare-vapeur n'est obligatoire qu'en région montagneuse ou en climat très froid. Il reste néanmoins valable dans tous les cas de figure. Sa perméance doit être inférieure ou égale à 0,002 g/m².h.mmHg.

Pour les plastiques alvéolaires et selon le lieu de mise en œuvre, vous pouvez remplacer le pare-vapeur par un écran d'interposition. Cela permet d'éviter les conséquences de la pénétration de la neige poudreuse sous la couverture et de canaliser l'eau de fonte vers l'égout. Cette membrane doit être prolongée jusqu'en partie basse de la toiture. Il peut s'agir d'une feuille de bitume élastomère SBS à armature de voile de verre de 2 mm d'épaisseur.

L'isolant doit avoir une forte densité, résister à la compression, ne pas retenir l'eau, être non hydrophile et retrouver ses qualités après une humidification temporaire. On le choisit généralement sous forme de panneaux rigides, en laine minérale, en polystyrène extrudé, en polyuréthane, en verre cellulaire, mais également en fibres de bois (figure 388).

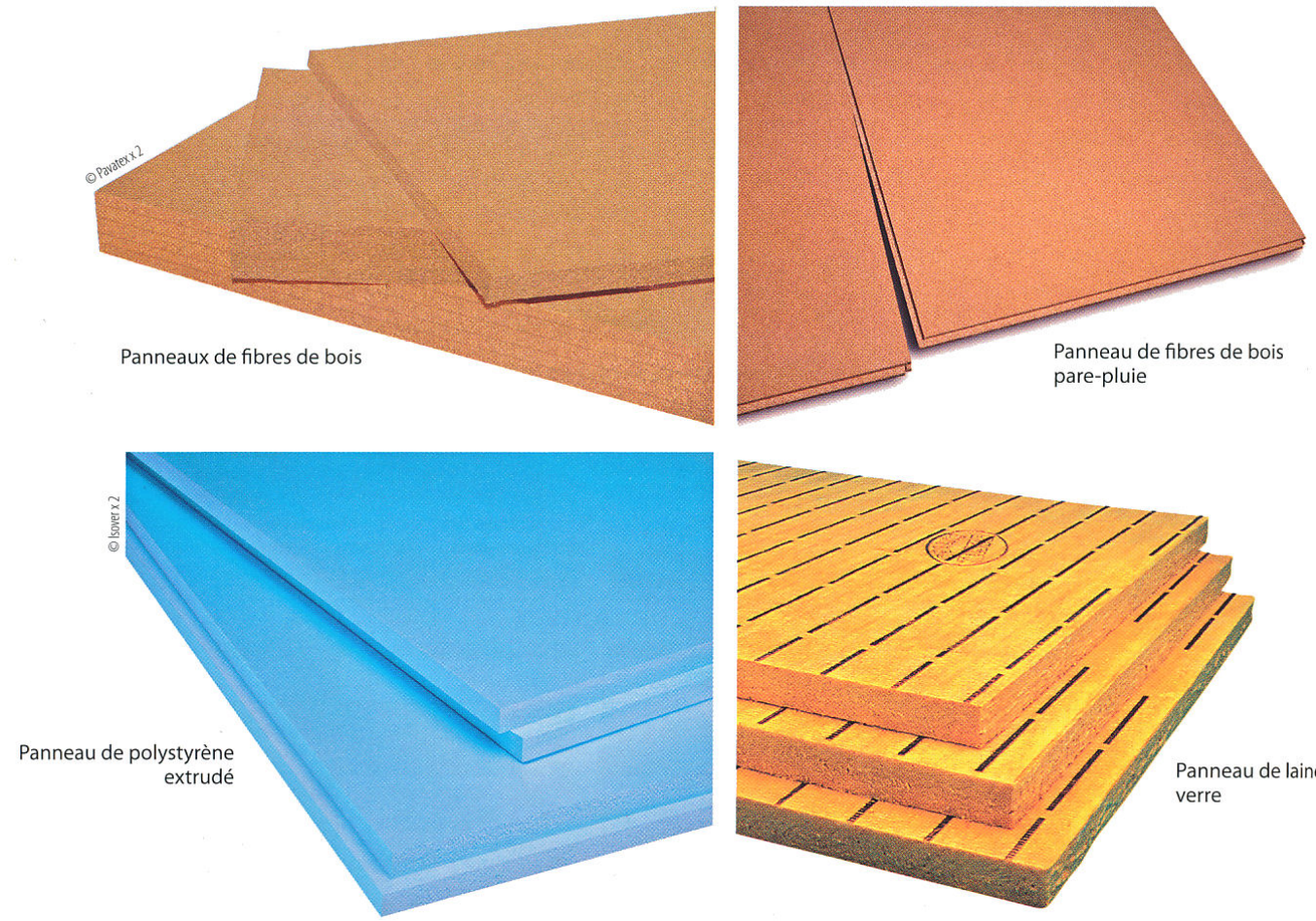


Figure 388 : Exemple d'isolants pour le sarking

Les panneaux de plastique alvéolaire sont bouvetés ou feuillurés.
Jusqu'à 900 m d'altitude, il peut être nécessaire de recouvrir les isolants fibreux d'un écran sous toiture. Dans le cas d'un écran classique, il faut créer une lame d'air entre la face supérieure de l'isolant et l'écran. Pour ce faire, posez sur l'isolant des liteaux de l'épaisseur de la lame d'air, puis fixez-y l'écran sous toiture. Par dessus, placez ensuite des contre-chevrons, pour assurer la ventilation de la toiture. Vous pouvez installer un écran HPV directement sur l'isolant. Cet écran est plus intéressant si vous installez conjointement un pare-vapeur hygrorégulant.

Pour les isolants à base de bois, recouvrez-les d'une couche de panneaux de fibres de bois pare-pluie. Certains isolants sont pourvus d'une couche d'étanchéité intégrée et ne nécessitent pas d'écran.

Vous pouvez mettre en œuvre l'isolant en une ou deux couches, généralement de même épaisseur. Pensez à croiser les couches et à décaler les joints.

Pour le contre-chevronnage, utilisez des liteaux que vous fixerez dans les chevrons, à travers l'isolant et le plafond. Ils permettent de créer l'espace de ventilation de la toiture. Il faut donc déterminer leur épaisseur en fonction de la couverture choisie. Pour une couverture en petits éléments (tuiles, ardoises), l'épaisseur est de 20 mm. Pour les toitures en bardeaux bitumés ou métalliques, si la longueur du rampant ne dépasse pas 12 m, l'épaisseur est de 40 mm. Si le rampant dépasse 12 m, il faut une épaisseur de liteaux de 60 mm (figure 389). Les contre-chevrons ont une largeur minimale de 60 mm.

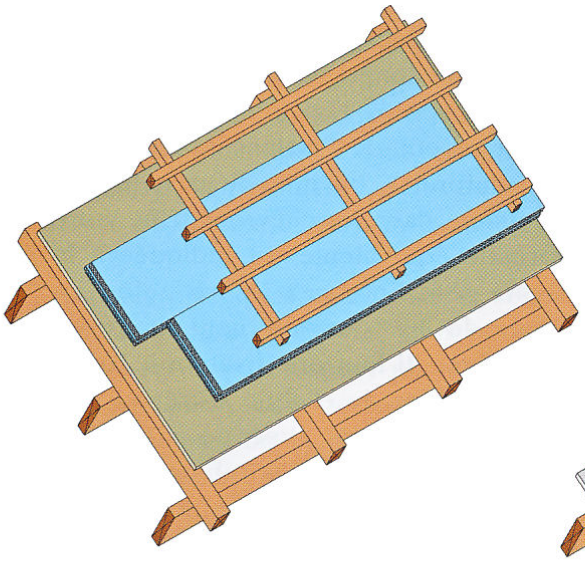
Pour la fixation des contre-chevrons, utilisez des vis ou des tire-fonds à double filetage (figure 390). Il doivent être en acier zingué passivé si l'isolant est fibreux. La longueur de la fixation doit correspondre à l'épaisseur des liteaux + l'épaisseur de l'isolant + l'épaisseur du plafond + 60 mm de pénétration minimum dans les chevrons. Une autre formule équivalente est indiquée à la figure 386. Enfoncez les vis selon un angle de 30 °, en alternant d'une vis sur l'autre. Il faut une fixation à 10 cm au maximum de chaque extrémité des contre-chevrons, avec un minimum de deux fixations. Les tableaux de la figure 387 indiquent les entraxes à respecter entre les fixations. En bas du pan de toiture, si l'isolant est arrêté avant le bord, clouez les contre-chevrons sur les chevrons ou les fourrures rapportée, avec deux clous minimum.

Si l'isolant est en plastique alvéolaire, fixez-le avec des clous enfoncés verticalement. Il peut s'agir de pointes torsadées ou crantées galvanisées, de 5,5 à 8 mm de diamètre selon l'épaisseur de l'isolant et du plafond. Leur longueur se détermine comme celle des vis ou des tire-fonds.
Au-delà de 900 m d'altitude, il convient de créer une double ventilation pour la toiture. Créez un second platelage sur les contre-chevrons. Fixez mécaniquement des chantelattes trapézoïdales. Réalisez une étanchéité supplémentaire sur toute la surface de la toiture, puis fixez des contrelattes sur les chantelattes, destinées à recevoir les liteaux des éléments de couverture.
La mise en œuvre du *sarking* débute par la pose du plafond. Fixez-le mécaniquement sur les chevrons. S'il se compose de panneaux, posez-les perpendiculairement aux chevrons.

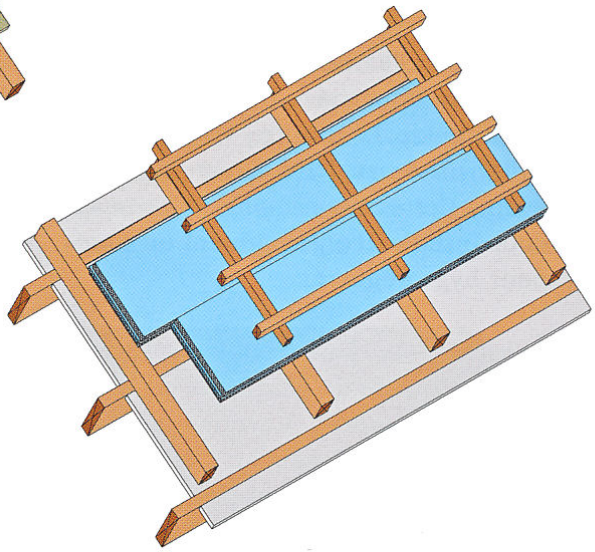
Le sarking et la couverture

D'après Dow

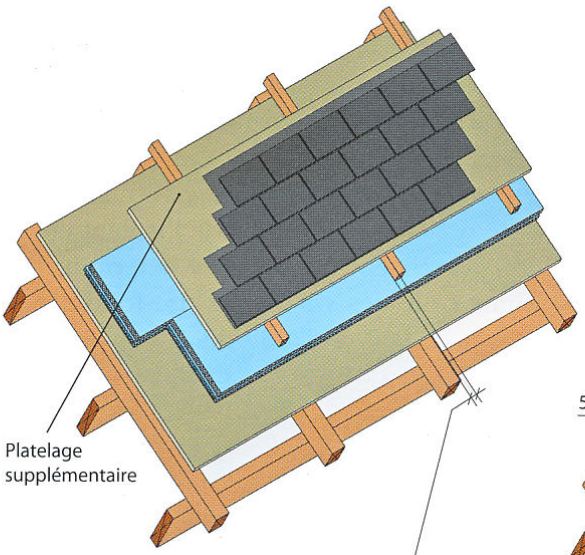
Pour couverture en petits éléments (tuiles...)



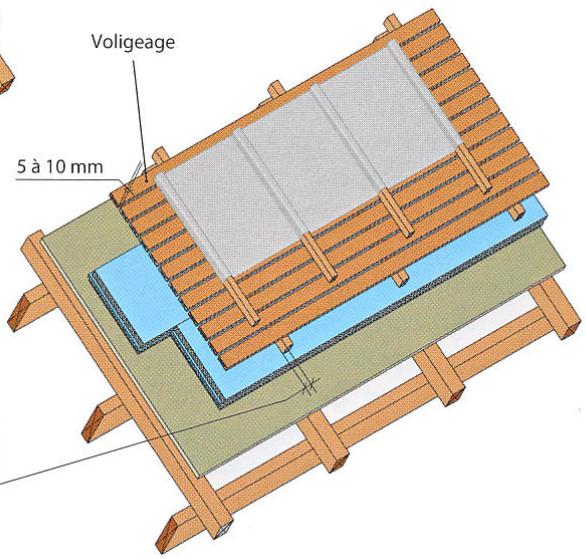
Pour couverture en petits éléments, variante avec plafonnage fixé sous chevrons



Pour couverture en bardeaux bitumés



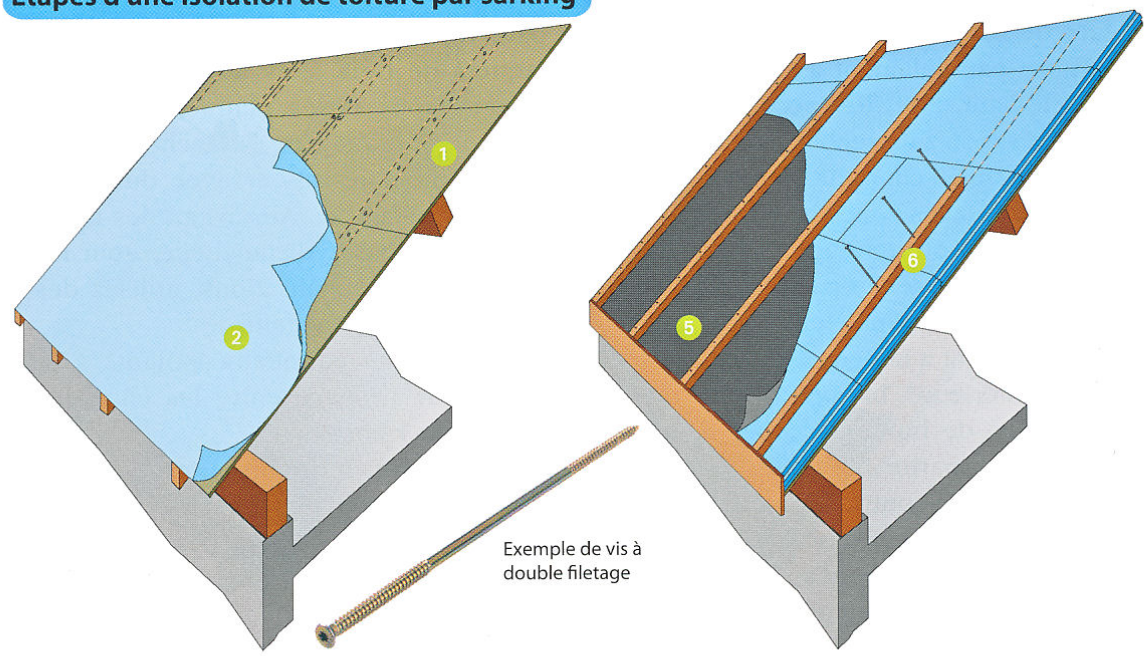
Pour couverture métallique



Épaisseur de la lame d'air :
- 4 cm si la longueur du rampant < 12 m ;
- 6 cm si la longueur du rampant > 12 m.

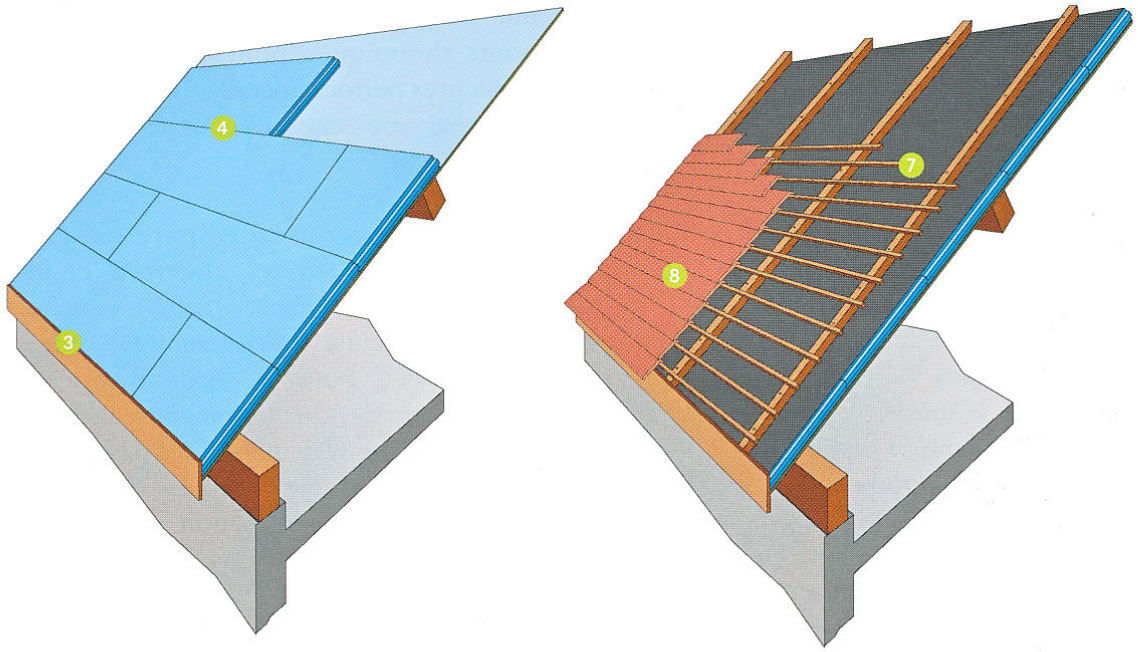
Figure 389 : Le sarking et la couverture

Étapes d'une isolation de toiture par sarking



1 - Fixez les plaques de CTB-H ou CTB-X formant le platelage continu sur les chevrons (1). Disposez un film pare-vapeur (2) avec chevauchement des lés et étanchéité.

3 - Posez un écran sous-toiture si nécessaire (5). Fixez les contre-liteaux sur les chevrons, à travers l'isolant avec des vis ou clous torsadés selon l'isolant (6).



2 - Posez les butées qui vont déterminer le départ de l'isolation (3). Placez les plaques d'isolant jointives à joints décalés en une ou deux couches (4).

4 - Clouez les liteaux destinés à recevoir la couverture (7). Placez les tuiles sur les liteaux (8).

Figure 390 : Les étapes de l'isolation par sarking

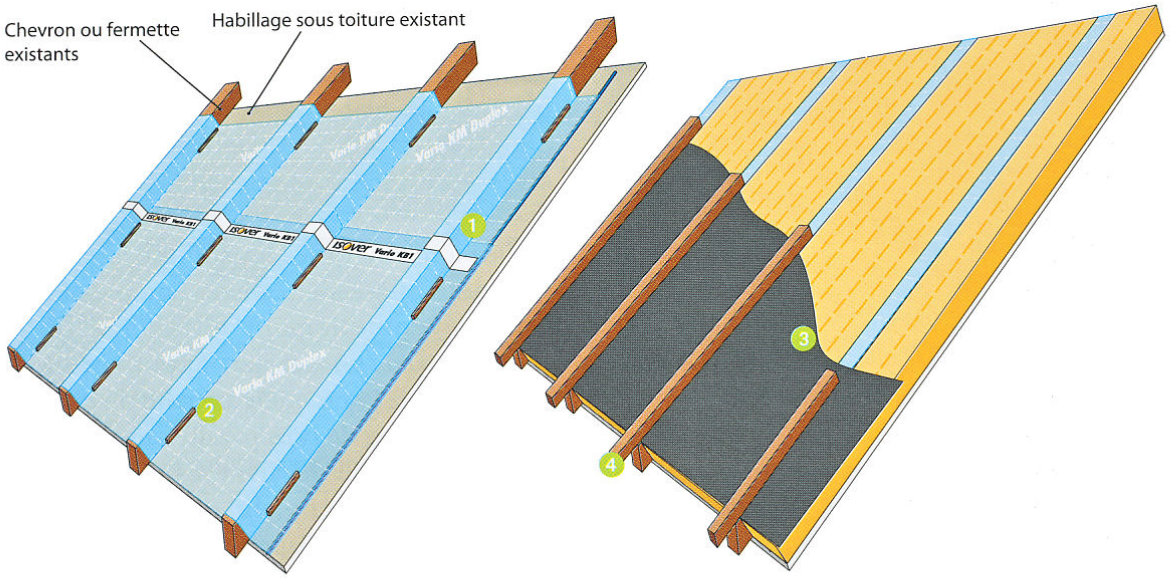
Déroulez le pare-vapeur sur toute la surface de la toiture (figure 390). Effectuez la pose parallèlement à l'égout, du bas vers le haut. Pour les raccords horizontaux, respectez un recouvrement de 10 à 15 cm et de 50 cm pour les raccords verticaux. Fixez les zones de recouvrement par clouage ou agrafage. Selon les cas de figure, la pose des panneaux d'isolant peut s'effectuer parallèlement ou perpendiculairement à la ligne d'égout. Dans la partie inférieure, bloquez les panneaux au moyen de butées en bois. Si le toit dépasse la partie habitable, employez un système de contre-chevronnage et de butées. Dans ce cas, l'isolant doit dépasser la panne sablière d'au moins 10 cm. Au niveau des rives, prévoyez un joint d'étanchéité en mousse souple. Le long de la ligne d'égout, au niveau de la butée, prévoyez des cales afin que l'isolant ne soit pas directement en contact et de ne pas risquer l'accumulation d'eau.
Posez ensuite éventuellement l'écran sous toiture directement sur l'isolant ou, pour ménager une lame d'air, sur des contre-liteaux.
Fixez les contre-chevrons à travers l'isolant et le plafond, puis posez les liteaux et les éléments de couverture.

Cette méthode d'isolation est également possible dans le cadre d'une rénovation totale de la toiture, sans dégrader l'intérieur des combles notamment. Il suffit de retirer la couverture jusqu'aux chevrons jusqu'à atteindre le dos des plaques de plâtre ou des lambris du parement des combles. Prenez toutes les précautions nécessaires pour les travaux en hauteur et pour ne pas traverser les plaques de plâtre en marchant dessus ou en laissant tomber des objets.
Placez un pare-vapeur hygrorégulant sur toute la surface de la toiture, comme déjà indiqué. Cependant, pour maintenir le pare-vapeur, il convient de clouer des taquets de bois dans les angles entre les chevrons et les plaques de plâtre (figure 391). Assurez l'étanchéité entre les lés du pare-vapeur avec du ruban adhésif spécifique. Au niveau des rives, utilisez du mastic d'étanchéité. Pour les traversées de canalisations, utilisez des manchettes d'étanchéité.
Découpez les panneaux isolants à la largeur de l'espace entre les chevrons majoré de 1 cm.
Après la pose de l'isolant, agrafez l'écran sous toiture HPV sur les chevrons. Ensuite, procédez à la pose des contre-chevrons, des liteaux et de la couverture.

Cette solution présente cependant un inconvénient : l'isolation thermique n'est pas continue, puisqu'elle est interrompue par les chevrons, ce qui crée des ponts thermiques ponctuels. Pour de meilleures performances, il est préférable de poser une seconde couche d'isolant (figure 392).

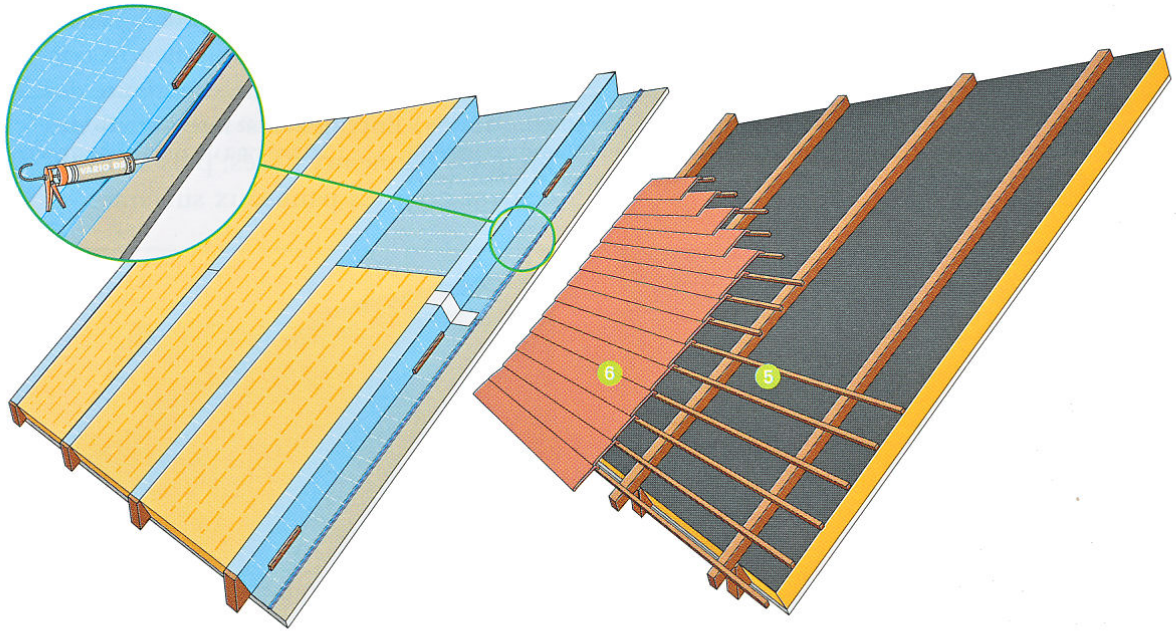
Dans ce cas, posez le pare-vapeur hygrorégulant sur les chevrons et le plafonnage. Installez la première couche d'isolant comme précédemment, entre les chevrons. Posez la seconde couche d'isolant perpendiculairement à la première. Vous pouvez utiliser des panneaux de laine de roche adaptés, pourvus d'une couche de protection pare-pluie, avec languettes de recouvrement. Réalisez l'étanchéité entre les languettes de recouvrement des panneaux au moyen d'un ruban adhésif spécifique. La mise en œuvre peut s'effectuer à l'avancement. Ensuite, fixez mécaniquement les contre-chevrons, puis les liteaux et les éléments de couverture.

Isolation d'une toiture par l'extérieur en rénovation



***1** - Déroulez les lés (1) de pare-vapeur hygrorégulant sur les chevrons. Les lés doivent se chevaucher de 10 cm et être collés au ruban adhésif. De petits taquets de bois sont cloués dans les angles des chevrons pour en épouser la forme (2).*

***3** - Posez un écran sous-toiture de type HPV (3). Clouez ensuite les contre-chevrons (4) sur la charpente existante.*



***2** - Pour assurer l'étanchéité à l'air, les extrémités du pare-vapeur sont collées par un cordon de mastic sur l'habillage. Découpez l'isolant de la largeur entre chevrons + 1 cm.*

***4** - Clouez les liteaux destinés à recevoir la couverture (5). Placez les éléments de couverture sur les liteaux (6).*

Figure 391 : L'isolation d'une toiture par l'extérieur en rénovation

1 On pose le pare-vapeur et la première couche d'isolant.

2 La pose de la seconde couche de panneaux isolants.

© Rockwool x 3

3 On fixe les contre-chevrons.

Figure 392 : L'isolation en deux couches par l'extérieur d'une toiture en rénovation

Le procédé du *sarking* convient également pour les isolants à base de fibres de bois (figure 393). La mise en œuvre est similaire aux autres isolants. Commencez par fixer le platelage sur les chevrons, depuis l'extérieur, puis le freine-vapeur ou le pare-vapeur hygrorégulant.

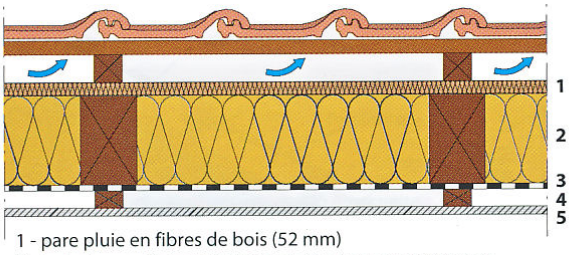
Veillez à recouvrir les lés sur une largeur suffisante et à les étancher (figure 394). Créez éventuellement un calage de débord, puis, en prenant appui sur ce calage, posez la première couche de panneaux de fibres de bois parallèlement à la ligne d'égout, en décalant les joints.
La seconde couche de panneaux de fibres de bois doit disposer d'une couche rapportée traitée pare-pluie. Vous pouvez tout autant poser deux couches de panneaux de fibres de bois classiques, puis une couche de panneaux pare-pluie. Collez les panneaux pare-pluie les uns aux autres avec un cordon continu de colle PU (étanche à l'eau). Appliquez le cordon de colle dans la partie supérieure des languettes. Encollez les languettes des premiers panneaux posés, puis à l'avancement pour les panneaux suivants.

© DFIG

Figure 393 : Exemple de sarking avec des panneaux isolants de fibres de bois

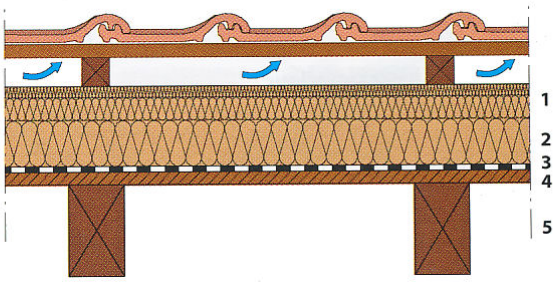
Solutions pour toitures avec inertie (D"après Pavatex)

Exemples de solutions



1 - pare pluie en fibres de bois (52 mm)
2 - isolation en fibres minérales entre chevrons (160 mm)
3 - film régulateur de vapeur
4 - vide technique (passage canalisations électriques, 25 mm)
5 - revêtement intérieur (plaque de plâtre, lambris…)

Résistance thermique R = 5,00
Déphasage : 7,0 heures

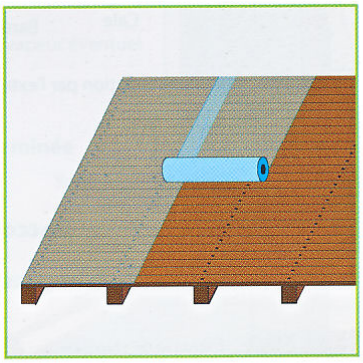


1 - complexe pare-pluie/isolant en fibres de bois (60 mm)
2 - isolation en fibres de bois (120 mm)
3 - film régulateur de vapeur
4 - lambrissage (20 mm)
5 - chevrons

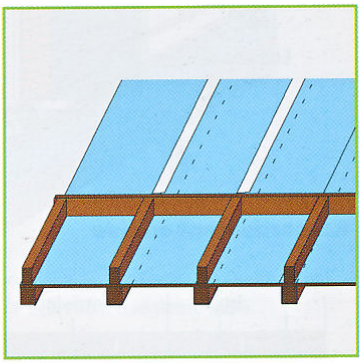
Résistance thermique R = 4,75
Déphasage : 13,2 heures

Mise en œuvre solution sarking

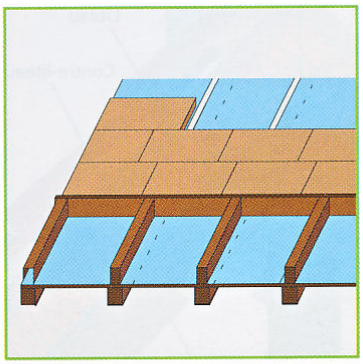
1 - Pose d'un platelage sur les chevrons (lambris ou panneaux).



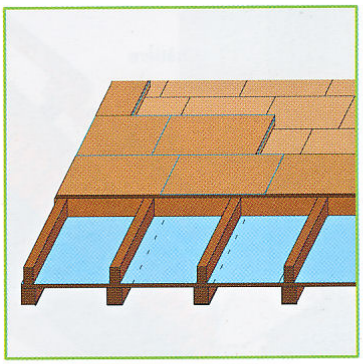
2 - Pose d'un freine-vapeur. Les lés doivent se chevaucher et assurer l'étanchéité de l'ensemble avec la construction.



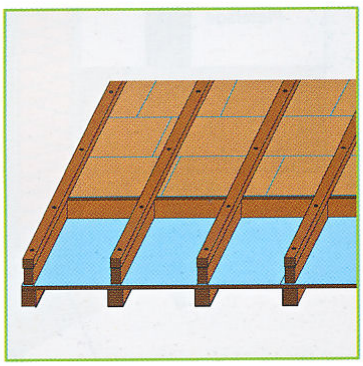
3 - Posez des calages de débord de toit (partie ne nécessitant pas d'isolation) à l'aide un contre-chevronnage et d'un carrelet de l'épaisseur de l'isolant.



4 - Posez une première couche de panneaux de fibres de bois à joints décalés sans les fixer.



5 - Posez la couche de complexes pare-pluie/isolant. Ils sont collés entre eux dans la partie haute des languettes avec une colle résistante à l'eau (PU).



6 - Procédez à la pose d'un contre-chevronnage sur l'ensemble de la toiture. Utilisez des vis à double filetage.

Figure 394 : La mise en œuvre d'une isolation par sarking avec des panneaux de fibres de bois

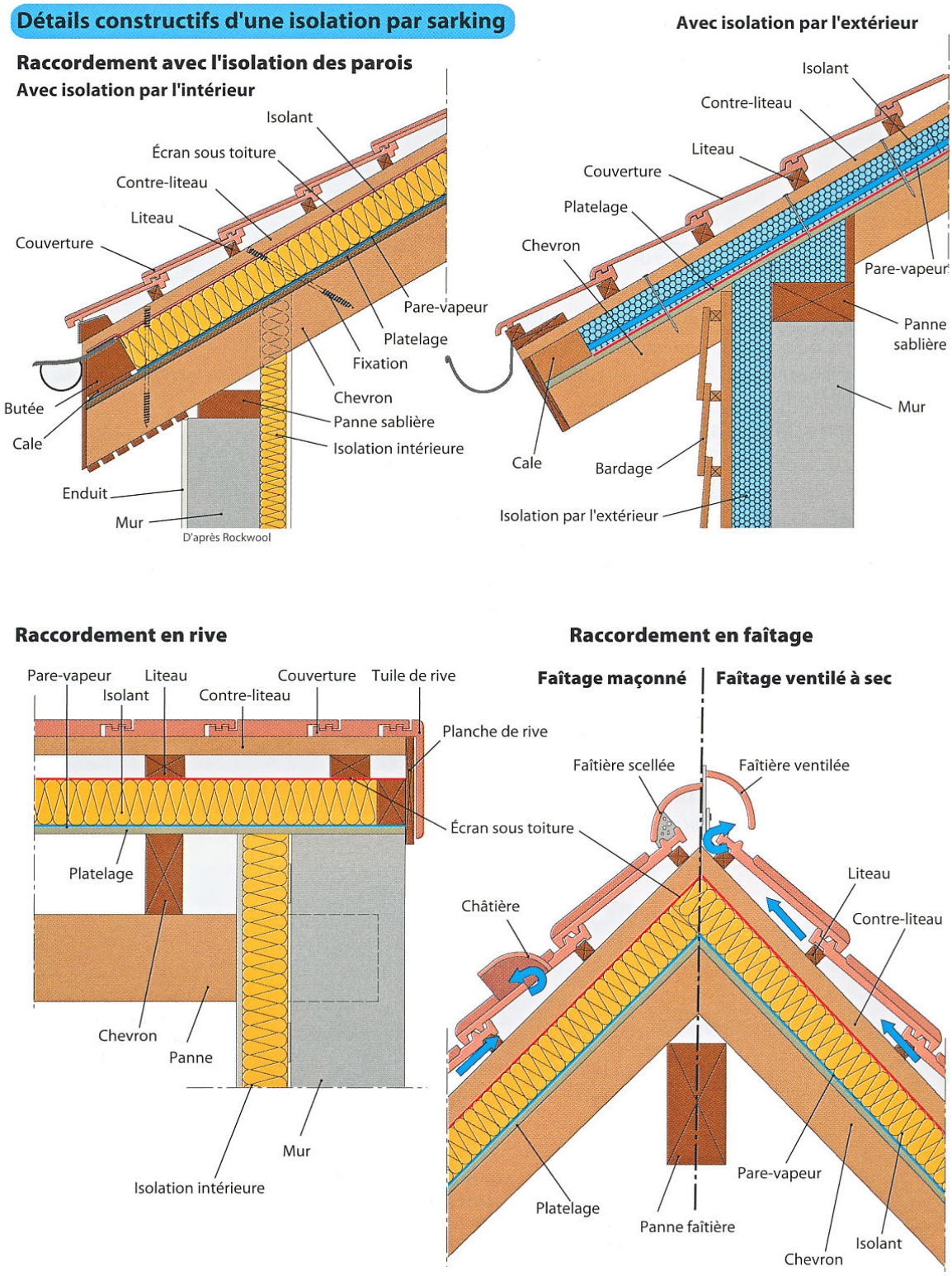


Figure 395 : Les détails constructifs d'une isolation par sarking

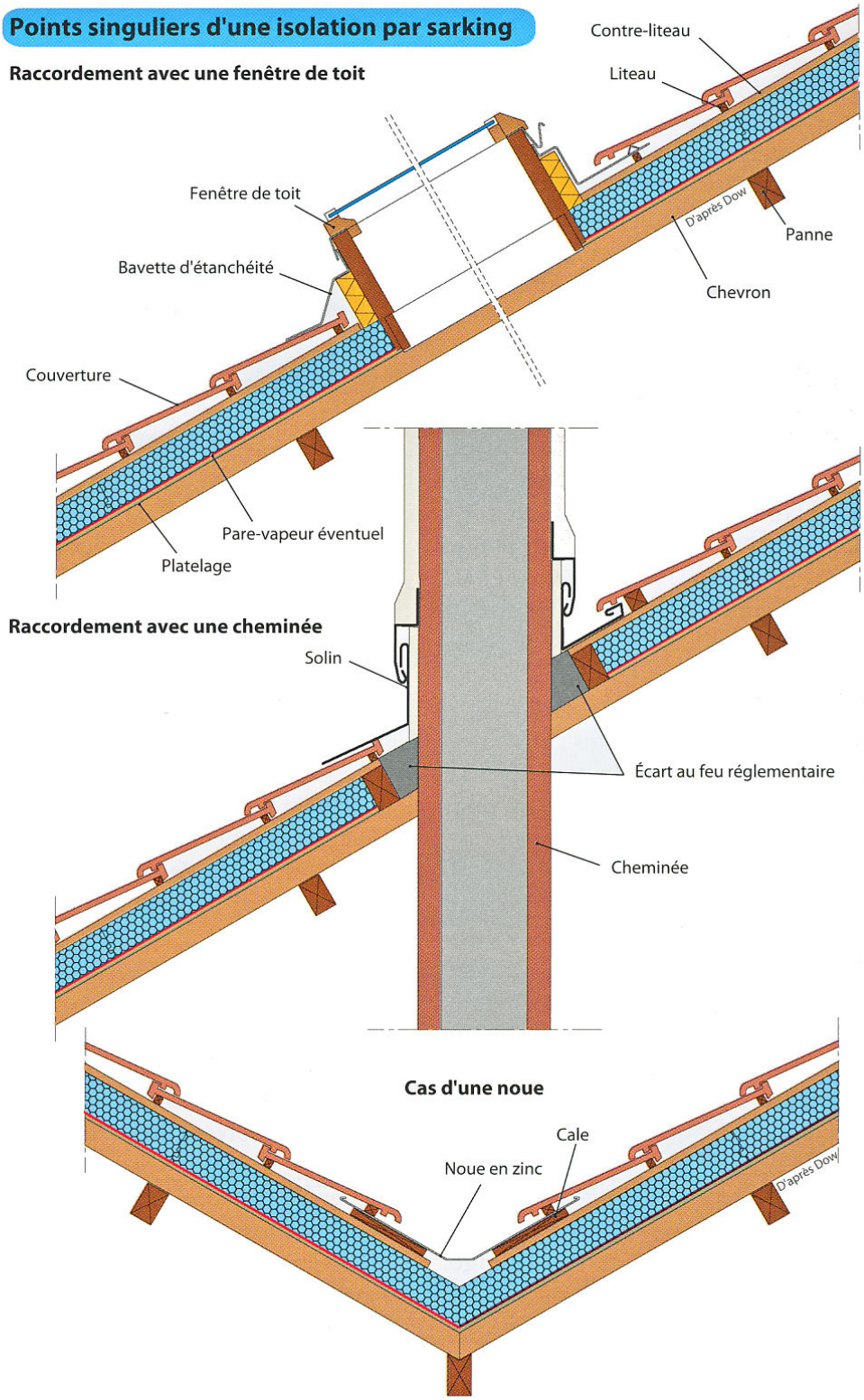


Figure 396 : Les points singuliers d'une isolation par sarking

Recouvrez les faîtes, les arêtiers, les noues et tous les angles d'un pare-pluie ou d'un ruban adhésif résistant à l'eau. Ensuite, fixez mécaniquement les contre-chevrons et les liteaux, puis posez les éléments de couverture.
Dans tous les cas, il faut assurer la continuité de l'isolation avec celle des parois verticales (figure 395). Par exemple, au niveau du pied droit, l'isolation intérieure doit rejoindre celle du plafond nouvellement créée. Il persistera des ponts thermiques ponctuels au niveau des chevrons en contact avec l'extérieur. Il est indispensable d'assurer l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air à cet endroit. En isolation par l'extérieur, cette précaution n'est pas nécessaire. Néanmoins, veillez à isoler la partie supérieure du mur et la panne sablière. L'avantage est que le pont thermique sera rallongé au niveau des chevrons.
Au niveau des pignons, faites correspondre l'isolant intérieur et le platelage. Le faîte doit être correctement réalisé pour ne pas créer de ponts thermiques.

La figure 396 présente également les points particuliers à prendre en considération lors d'une isolation par *sarking*. Au niveau d'un conduit de cheminée, respectez l'écart au feu réglementaire, soit 16 cm. N'utilisez aucun matériau inflammable ou sensible à la chaleur, comme un plastique alvéolaire. Autour du conduit, réalisez un coffrage de la même hauteur que l'isolant, dans lequel vous coulerez un mortier. Interrompez les isolants au niveau de ce coffrage. Il persistera cependant un pont thermique à cet endroit. Pour le réduire, vous pouvez utiliser une laine minérale.
Pensez également à isoler tout le pourtour des fenêtres de toit, en prenant soin de remonter contre les tapées.

Les panneaux de toiture

© Dutisland

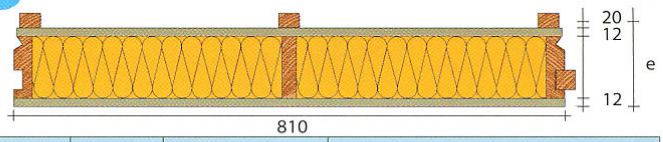
Plusieurs systèmes de panneaux de toiture coexistent. On trouve les caissons chevronnés, les panneaux sandwich, les panneaux sandwich avec contre-liteaux et les panneaux sandwich chevronnés (figure 397). Ils permettent d'assurer plusieurs fonctions : plafond, portance (pour une pose directe sur pannes), isolation thermique, ventilation de la toiture et support de couverture. La mise en œuvre des éléments de grande taille requiert des engins de levage (figure 398). Naturellement, il convient de respecter également toutes les règles de sécurité concernant les travaux en hauteur.

Les panneaux de toiture sont valables pour les habitations situées à une altitude inférieure à 900 m. Ils sont adaptés aux charpentes traditionnelles en bois massif ou contrecollé, ou métalliques. Les charpentes doivent avoir des éléments de section suffisante, des surfaces d'appui planes et des écartements compatibles avec les dimensions des panneaux. Faites réaliser un calepinage et une étude des charges (type et poids de la couverture, charge climatique de neige…) pour déterminer les possibilités de mise en œuvre et choisir le type de panneau approprié. Pour respecter l'étanchéité à l'air, la pose doit être très soignée. L'étanchéité à la

Les types de panneaux de toiture

Panneau sandwich chevronné

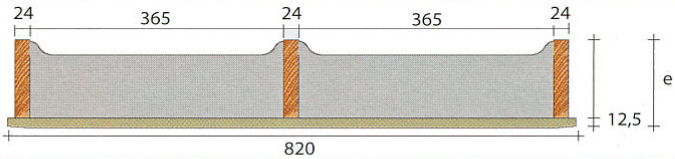
Isolant : laine minérale



Désignation commerciale (fabricant)	Épaisseur isolant (mm)	Épaisseur totale (e) (mm)	Section chevrons (mm)	Poids (kg/m²)	Longueur (m)	Performances thermiques U toiture (W/m².K)	Portée maximale (m) Pose sur 3 appuis (charges)		
							100 daN/m²	150 daN/m²	200 daN/m²
Rexolatte (Unilin systèmes)	145 à 170	189 à 214	24 x 145 à 24 x 170	30 à 32	2,40 à 8,00	0,27 à 0,24	4,70	4,10	3,75

Caisson chevronné

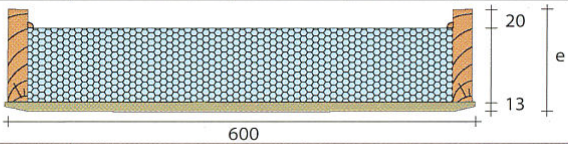
Isolant : mousse de polyuréthane



Désignation commerciale (fabricant)	Épaisseur isolant (mm)	Épaisseur totale (e) (mm)	Section chevrons (mm)	Poids (kg/m²)	Longueur (m)	Performances thermiques U toiture (W/m².K)	Portée maximale (m) Pose sur 3 appuis (charges)		
							100 daN/m²	150 daN/m²	200 daN/m²
Trilatte (Unilin systèmes)	125 à 140	157 à 182,5	24 x 145 à 24 x 170	24 à 26	2,70 à 5,40	0,27 à 0,24	3,10 à 3,40	2,75 à 3,10	2,50 à 2,90

Caisson chevronné

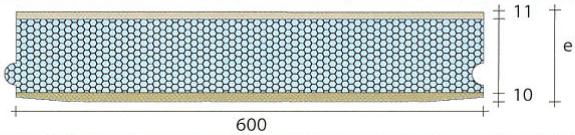
Isolant : polystyrène expansé PSE



Désignation commerciale (fabricant)	Épaisseur isolant (mm)	Épaisseur totale (e) (mm)	Section chevrons (mm)	Poids (kg/m²)	Longueur (m)	Performances thermiques U toiture (W/m².K)	Portée maximale (m) Pose sur 3 appuis (charges)		
							100 daN/m²	150 daN/m²	200 daN/m²
Fibratop (Knauf)	130 à 180	163 à 213	25 x 150 à 25 x 200	18,3 à 21	2,40 à 6,90	0,28 à 0,21	3,55 à 4,40	3,15 à 4,00	2,85 à 3,60

Panneau sandwich

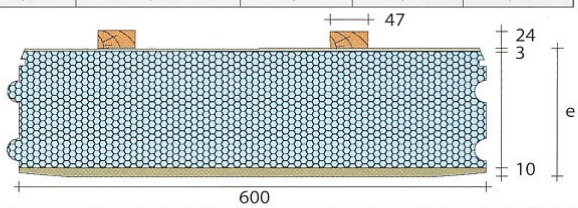
Isolant : polystyrène expansé PSE



Désignation commerciale (fabricant)	Épaisseur isolant (mm)	Épaisseur totale (e) (mm)	Section chevrons (mm)	Poids (kg/m²)	Longueur (m)	Performances thermiques U toiture (W/m².K)	Portée maximale (m) Pose sur 3 appuis (charges)		
							100 daN/m²	150 daN/m²	200 daN/m²
Fibrapanel (Knauf)	130 à 200	154 à 224	—	22,3 à 23,7	3,00 à 4,00	0,25 à 0,17	2,70 à 3,30	2,25 à 2,70	1,95 à 2,35

Panneau sandwich avec contre-liteaux

Isolant : polystyrène expansé PSE



Désignation commerciale (fabricant)	Épaisseur isolant (mm)	Épaisseur totale (e) (mm)	Section chevrons (mm)	Poids (kg/m²)	Longueur (m)	Performances thermiques U toiture (W/m².K)	Portée maximale (m) Pose sur 3 appuis (charges)		
							100 daN/m²	150 daN/m²	200 daN/m²
Fibratec (Knauf)	130 à 200	167 à 237	—	15,1 à 16,4	2,50 à 8,00	0,26 à 0,18	2,70 à 3,30	2,25 à 2,70	1,95 à 2,35

Figure 397 : Exemples de panneaux de toiture

© Unilin

Figure 398 : La mise en œuvre de caissons chevronnés avec un engin de levage

vapeur d'eau par diffusion peut poser problème au niveau des joints.

Pour les toitures simples à deux versants, la mise en œuvre est rapide et pratique puisque la finition intérieure est obtenue en même temps (figure 399). Les panneaux sandwich simples doivent être perpendiculaires au rampant. Ils nécessitent une charpente composée de pannes et de chevrons. Les panneaux sont posés perpendiculairement aux chevrons ou aux fermes. Effectuez les raccords entre panneaux au-dessus des pièces de charpente. Ensuite, réalisez la couverture, ventilée ou non, en posant éventuellement au préalable des contre-liteaux. Rappelons que ces panneaux ne sont pas adaptés aux charpentes industrialisées.

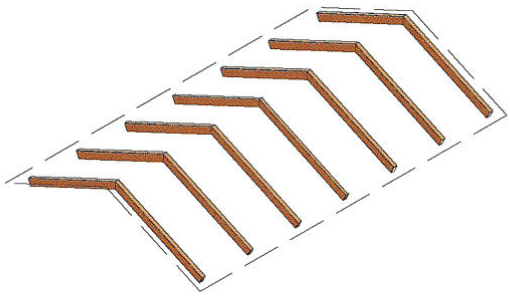
Les caissons chevronnés, les panneaux sandwich avec contre-liteaux et les panneaux sandwich chevronnés sont valables pour une charpente équipée uniquement de ses pannes et éventuellement de ses fermes intermédiaires. On les pose perpendiculairement aux pannes, puis on fixe des liteaux et on pose la couverture.

L'aspect vu des combles sera différent, selon le sens de pose, parallèle ou perpendiculaire à la ligne d'égout, et la nature du revêtement intérieur. Il persistera des lignes de joints pour certains matériaux qui ne nécessitent pas de finition. La figure 400 présente des exemples de pose horizontale ou verticale. Après la pose, jointoyez de manière traditionnelle les panneaux de

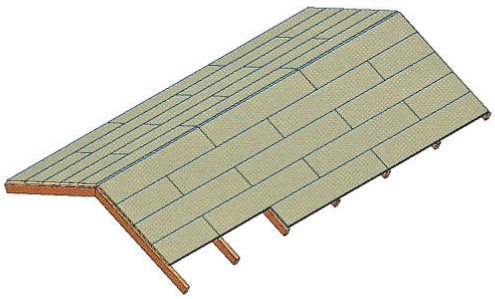
Principes de pose des panneaux de toiture

Pose perpendiculaire au rampant
(panneaux sandwich)

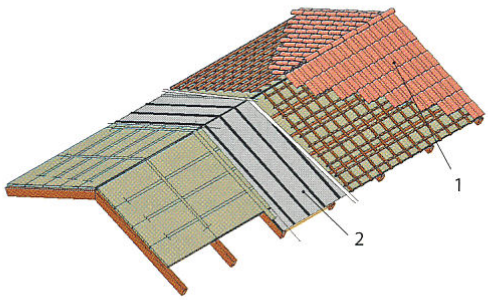
1 Pose des fermes



2 Pose des panneaux sandwich

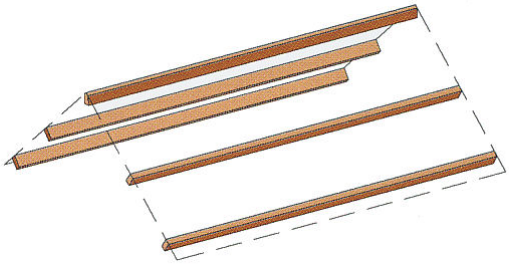


3 Pose d'une couverture ventilée (1) ou non ventilée (2)

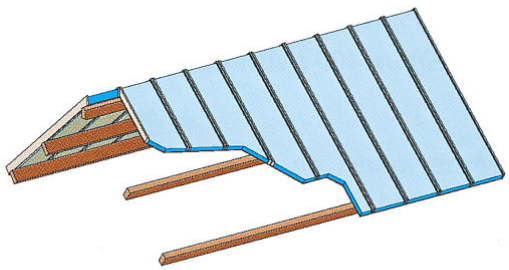


Pose parallèle au rampant
(caissons chevronnés)

1 Pose des pannes



2 Pose des caissons chevronnés



3 Pose d'une couverture ventilée ou non ventilée

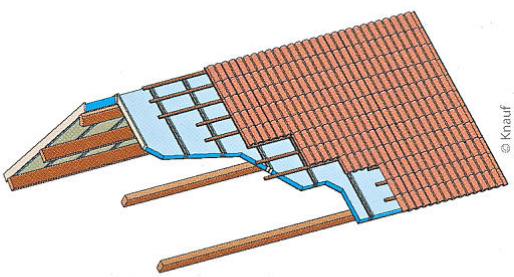


Figure 399 : La mise en œuvre des panneaux de toiture

© Unilin x 2

Caissons chevronnés avec sous-face en plaques de plâtre hydrofuges

Panneaux sandwich avec sous-face finie

Figure 400 : Vues de l'intérieur de charpentes équipées de panneaux de toiture

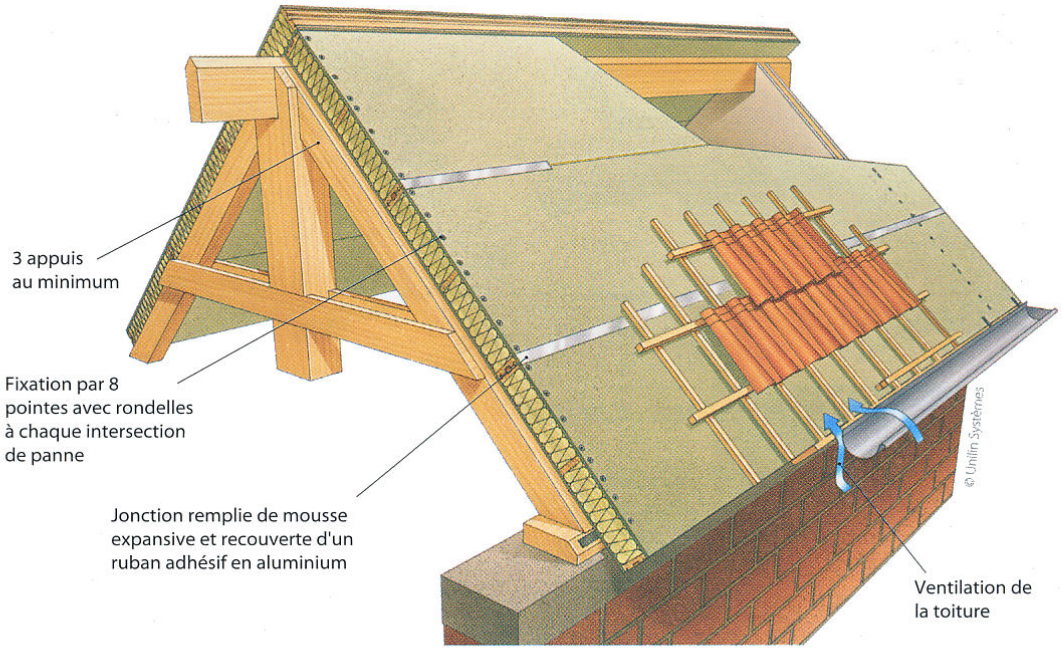
toiture munis de plaques de plâtre en sous-face (voir page 414).
Vous pouvez visser les panneaux sandwich sur les chevrons ou sur les pignons et les fermes intermédiaires, si leur portée le permet. Ils doivent reposer sur trois points d'appui au minimum. Il faudra étancher la jonction entre les panneaux.

Pour la pose de la couverture, fixez mécaniquement des contre-liteaux directement sur le parement extérieur des panneaux sandwich, perpendiculairement à la ligne d'égout. Ils serviront de support aux liteaux, qui accueilleront les petits éléments de couverture (figure 401). Ainsi, la ventilation de la toiture est assurée par la hauteur des contre-liteaux. Respectez une hauteur de 2 cm pour les couvertures en petits éléments. Dans le cas de caissons ou de panneaux sandwich chevronnés posés perpendiculairement à la ligne d'égout, vous pouvez poser les liteaux directement sur l'ossature des panneaux de toiture. Réalisez l'étanchéité entre les éléments. Le parement extérieur ou l'isolant est hydrophobe ce qui évite la pénétration de l'eau dans les panneaux.

Les caissons chevronnés renferment un isolant qui ne remplit pas toute la hauteur des chevrons. Veillez à choisir des caissons présentant une hauteur de lame d'air adaptée à la toiture qu'ils doivent supporter. Une lame d'air de 2 cm est suffisante pour des couvertures en petits éléments comme les tuiles ou les ardoises. En effet, pour des couvertures

Panneaux de toiture et support de couverture

Pose perpendiculaire au rampant



Pose parallèle au rampant

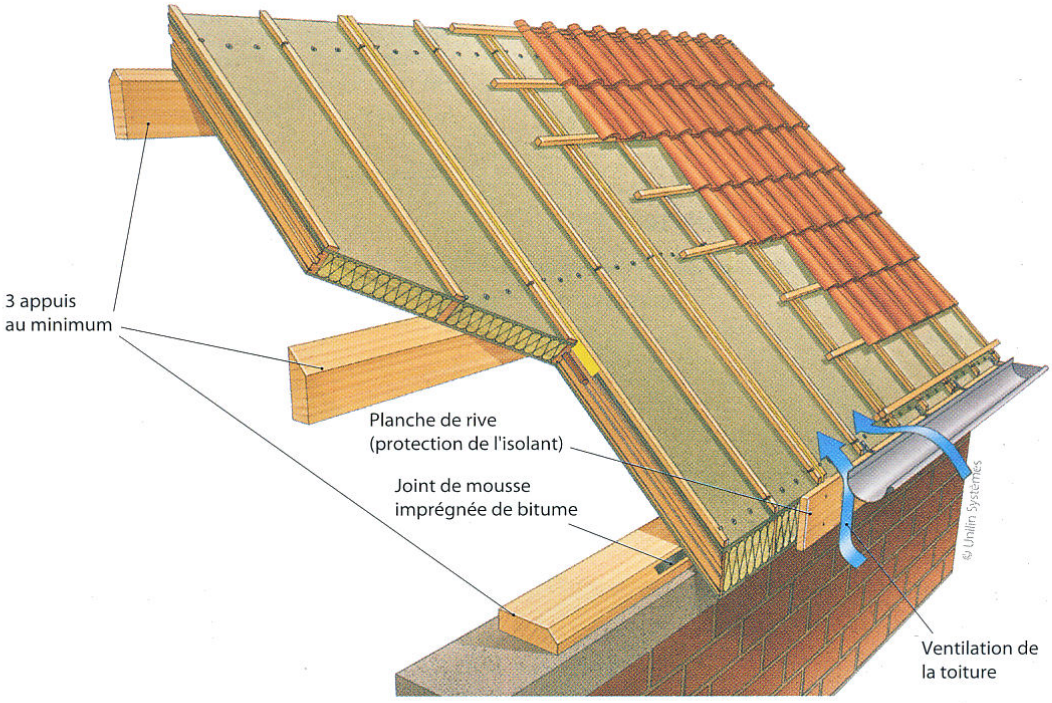
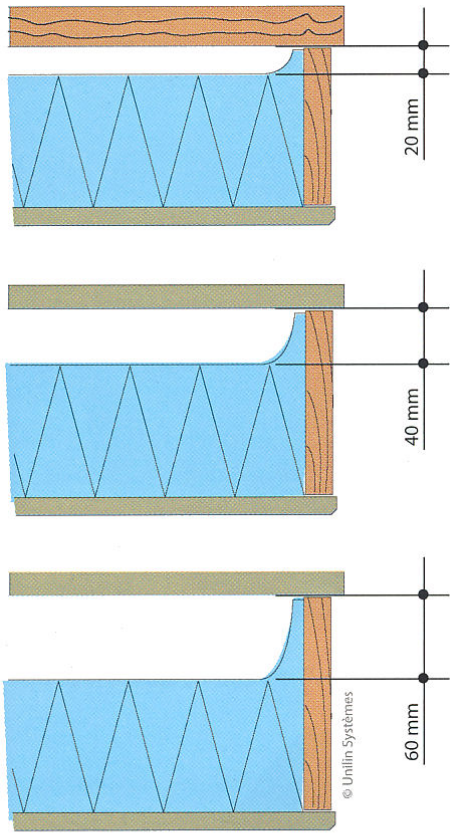


Figure 401 : Les panneaux de toiture et les supports de couverture

Ventilation des couvertures

Lames d'air à respecter



Hauteur de lame d'air conforme pour :
- couverture en tuiles ;
- couverture en ardoises.

Hauteur de lame d'air conforme pour :
- couverture en bardeaux bitumés ;
- couverture métallique.

Pour une longueur de rampant inférieure à 12 mètres.

Hauteur de lame d'air conforme pour :
- couverture en bardeaux bitumés ;
- couverture métallique.

Pour une longueur de rampant supérieure à 12 mètres et l'étanchéité sur panneaux dérivés du bois d'une épaisseur minimale de 18 mm.

Pose d'un écran sous toiture

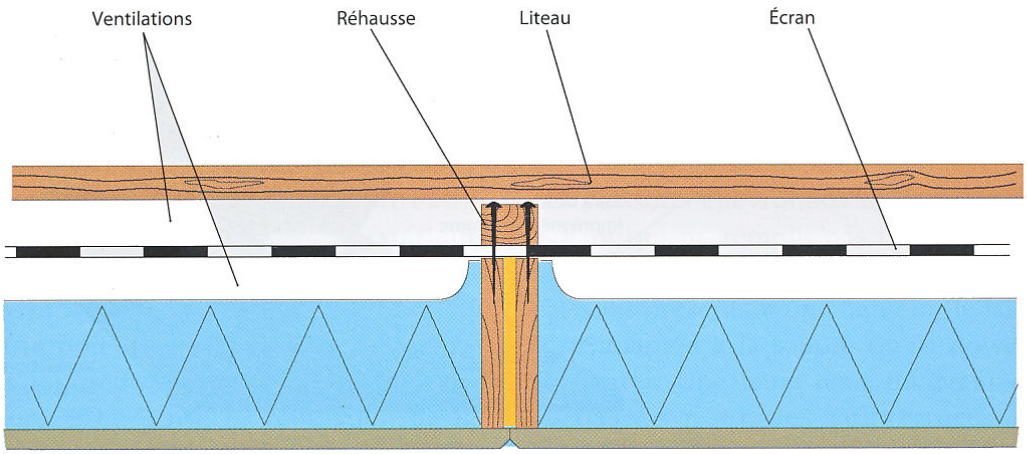
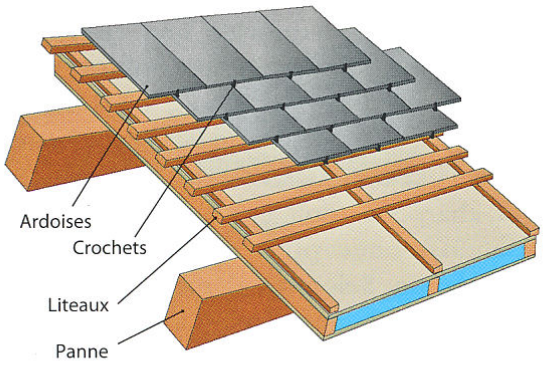


Figure 402 : La ventilation des couvertures

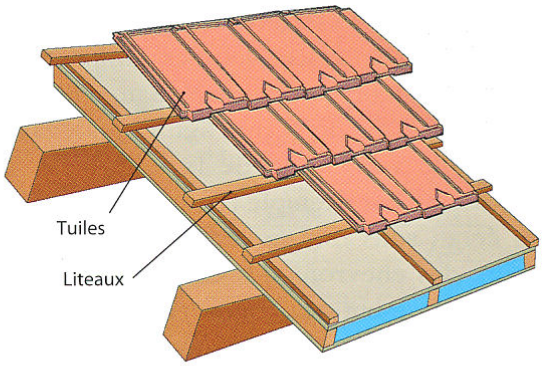
Couverture des panneaux de toiture

(D'après Unilin Systems)

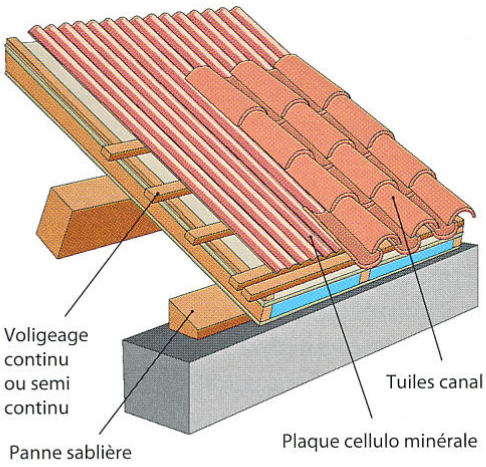
Couverture en ardoises



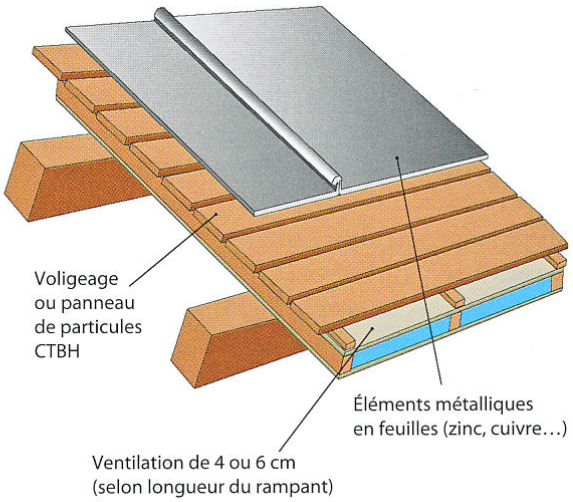
Couverture en éléments de terre cuite



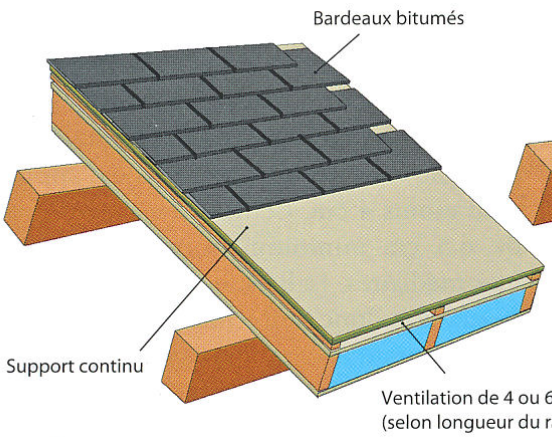
Couverture en tuiles canal



Couverture métallique



Couverture en bardeaux bitumés



Couverture en plaques ondulées

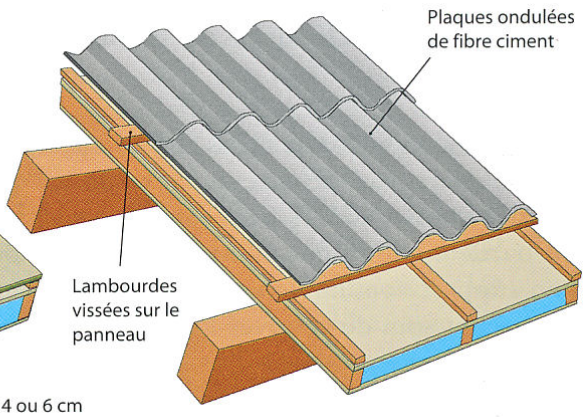


Figure 403 : La couverture des panneaux de toiture

métalliques ou en bardeaux bitumés, avec des longueurs de rampant inférieures à 12 m, la hauteur de la lame d'air doit passer à 4 cm. Pour le même type de couverture, mais avec des rampants d'une longueur supérieure à 12 m, il faut une lame d'air de 6 cm (figure 402). Si la double ventilation de la toiture est nécessaire, par exemple en altitude, fixez un écran sous toiture sur la face supérieure des chevrons des caissons. Fixez mécaniquement des contre-chevrons de rehausse sur les chevrons, pour créer la seconde ventilation. Vous y fixerez les liteaux de la couverture.

Les panneaux de toiture sont aptes à recevoir la plupart des couvertures. S'il s'agit de petits éléments, posez-les sur un liteaunage. Dans le cas des panneaux sandwich, fixez les liteaux rapportés mécaniquement sur la peau extérieure, au moyen de vis VBA ou de clous torsadés, au pas maximum de 50 cm, avec un entraxe adapté aux charges permanentes et climatiques, soit un maximum de 1 m.
Vous pouvez aussi choisir des tuiles canal. Faites-les reposer sur des plaques cellulo-minérales, fixées sur un continu ou semi-continu (figure 403). Reportez-vous aux Avis Techniques du produit choisi.

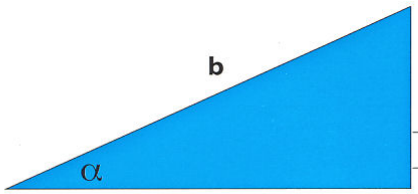
Les plaques ondulées de fibres ciment ou autre doivent être posées sur des lambourdes vissées sur les panneaux. Pour les bardeaux bitumés, l'interposition d'un support continu est indispensable, en prenant soin de réserver l'espace de ventilation nécessaire.
Les couvertures métalliques, quant à elles, doivent reposer sur un voligeage ou sur des panneaux de particules CTBH prévus pour cet usage.

La mise en œuvre des panneaux sandwich

Les panneaux sandwich non chevronnés conviennent pour une toiture non ventilée. Dans le cas d'une couverture métallique, intercalez au préalable une sous-couche.
La charpente doit être en bon état et dimensionnée pour recevoir ce type d'isolation. Selon les éléments qui composent la charpente, vous choisirez une pose perpendiculaire ou parallèle à la ligne d'égout. Maintenez les panneaux dans leur emballage jusqu'à la pose. Afin d'éviter de les endommager, montez-les sur la charpente, sous-face côté extérieur. Retournez-les ensuite et posez-les à l'avancement.

Les panneaux doivent reposer sur au moins trois points d'appuis (pièces de charpente). Un calepinage préalable peut être nécessaire pour déterminer la longueur de panneau la plus appropriée. Le tableau de la figure 404 présente les dimensions des rampants en fonction des angles d'inclinaison de la toiture. En cas de pose perpendiculaire aux pannes, les raccords entre deux panneaux doivent s'effectuer obligatoirement sur un appui. Il en va de même pour la pose parallèle aux pannes. Dans ce cas, les raccords entre panneaux doivent se situer au-dessus d'un chevron. Aux extrémités des panneaux, respectez une surface d'appui d'au moins 4 cm. Cette surface doit être de 6,5 cm minimum pour les appuis intermédiaires. La liaison entre deux panneaux doit donc s'effectuer sur une pièce de charpente d'au moins 8 cm de largeur. La pose sur deux points d'appuis est tolérée dans le cas d'éléments recoupés. Posez toujours les panneaux en prenant soin de décaler les joints transversaux.

Concordance entre angle de pente et dimension du rampant



1 mètre

a (m)	Pente en degrés (α)	Pente en % (m.p.m)	Longueur du rampant (b) en m
2,00	63°30	200 %	2,23
1,95	63°00	195 %	2,19
1,90	62°15	190 %	2,14
1,85	61°30	185 %	2,12
1,80	61°00	180 %	2,05
1,75	60°15	175 %	2,01
1,70	59°30	170 %	1,97
1,65	58°45	165 %	1,93
1,60	58°00	160 %	1,88
1,55	57°00	155 %	1,84
1,50	56°15	150 %	1,80
1,45	55°30	145 %	1,76
1,40	54°30	140 %	1,72
1,35	53°30	135 %	1,68
1,30	52°30	130 %	1,64
1,25	51°15	125 %	1,60
1,20	50°15	120 %	1,56
1,15	49°00	115 %	1,52
1,10	47°45	110 %	1,48
1,05	46°40	105 %	1,45
100	45°00	100 %	1,41
0,95	43°50	095 %	1,38
0,90	42°00	090 %	1,34
0,85	40°15	085 %	1,31
0,80	38°30	080 %	1,28
0,75	37°00	075 %	1,25
0,70	35°00	070 %	1,22
0,65	33°00	065 %	1,19
0,60	31°00	060 %	1,16
0,55	28°45	055 %	1,14
0,50	26°30	050 %	1,11
0,45	24°15	045 %	1,09
0,40	21°45	040 %	1,07
0,35	19°15	035 %	1,06
0,30	16°45	030 %	1,04
0,25	14°00	025 %	1,03
0,20	11°15	020 %	1,02
0,15	08°30	015 %	1,01

Figure 404 : La concordance entre angle de pente et dimensionnement du rampant

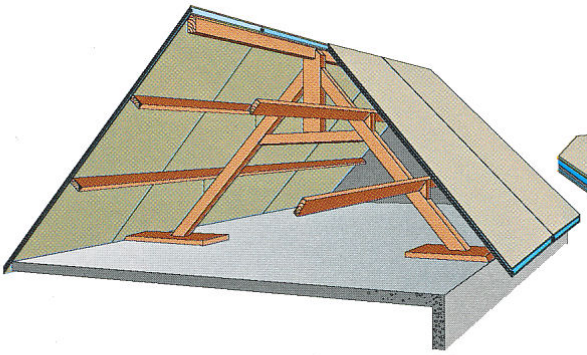
Dans le cas d'une pose parallèle aux pannes, la distance entre deux appuis ne doit pas dépasser 1 m.
Sur une charpente en bois, fixez les panneaux sandwich avec trois fixations sur chaque appui (supérieur, intermédiaire et inférieur), en respectant une distance de 7 cm des rives longues (figure 405). Dans les zones particulières comme le faîtage, les noues ou les rives, réalisez quatre fixations sur chaque appui.

Pour les fixations, utilisez des pointes cannelées crantées à tête large, en acier galvanisé, de 5,5 mm à 6,5 mm de diamètre. Vous pouvez aussi choisir des vis à bois électrozinguées à tête fraisée de 6 mm de diamètre. Le nombre de fixations peut varier en fonction du produit mis en œuvre. Reportez-vous à la notice du fabricant ou à l'Avis Technique correspondant. La longueur des fixations doit correspondre à l'épaisseur du panneau sandwich majorée de 60 mm.

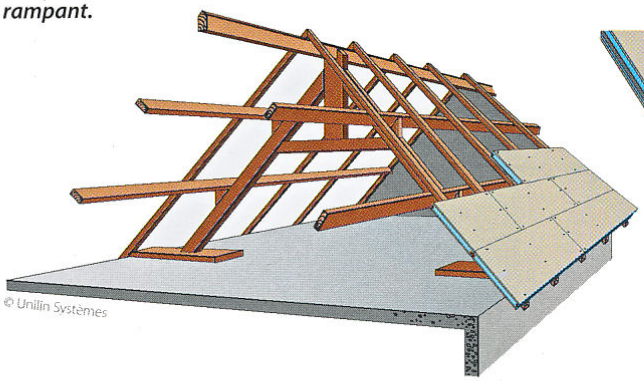
Dans le cas d'une structure métallique, utilisez des vis autotaraudeuses à tête fraisée de 6,3 mm de diamètre. Selon le modèle de panneaux, assemblez les éléments directement par emboîtement (rives à rainures et languettes) ou par interposition de clavettes en CTBH qui assurent l'alignement des panneaux. Réalisez les joints transversaux avec un mastic d'étanchéité extrudable. Recouvrez les joints d'une bande adhésive en aluminium. Pour assurer la parfaite continuité de l'isolant, recoupez éventuellement les panneaux au niveau du faîtage, en fonction de la pente de la toiture. Complétez l'isolation avec un isolant en vrac ou en bombe. Tenez compte de la dilatation des panneaux et prévoyez un joint souple aux jonctions avec les parois verticales. Si la couverture n'est pas mise en œuvre dans la foulée, protégez les panneaux avec des bâches.
Vous pouvez recouper les panneaux juste avant la gouttière, afin d'offrir une surface verticale pour le clouage de la planche de rive (figure 406). Pour créer un support suffisamment solide pour accueillir la planche de rive et les supports de gouttière, vous pouvez intercaler des coins en bois dans l'isolant. Rentrez-les à force, puis fixez-les mécaniquement entre les parements. Vous pouvez aussi évider l'isolant, puis fixer mécaniquement une pièce de bois. Vous pouvez effectuer la coupe du panneau après la mise en place de ces cales. Intercalez une bande de mousse bitumée entre la face inférieure des panneaux et le dessus de la panne sablière, ainsi qu'en rive de pignon.

Pour les panneaux sandwich avec contre-liteaux, la mise en œuvre est similaire. Posez les panneaux perpendiculairement aux pannes. Ils doivent couvrir toute la longueur du versant. Sinon, procédez au raccord transversal entre éléments sur un support. Les méthodes de pose, de jointoiement, le nombre et le type de fixations diffèrent d'un fabricant à l'autre. Reportez-vous aux documents techniques du produit pour plus de précisions. La mise en œuvre suivante correspond à un représentatif à titre d'exemple.
Le nombre d'appuis minimal par panneaux est de trois. Effectuez le raccord entre deux panneaux sur un support d'au moins 8 cm de largeur. Réalisez chaque fixation avec deux pointes par appui (figure 407). Après préperçage, clouez les pointes à travers les contre-liteaux. Dans les zones exposées, utilisez une rondelle de répartition d'un diamètre de 40 mm et une pointe supplémentaire pour fixer les panneaux en leur centre. Posez les panneaux en butée, bord à bord.

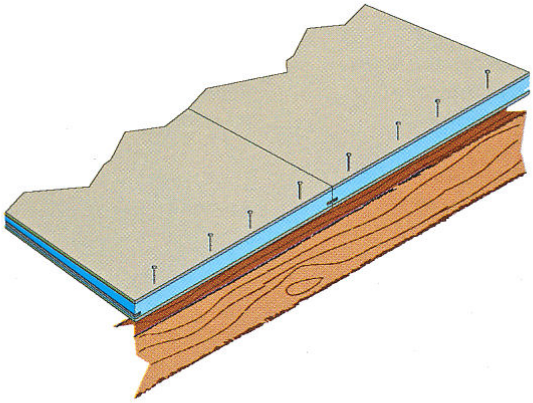
Pose des panneaux sandwich



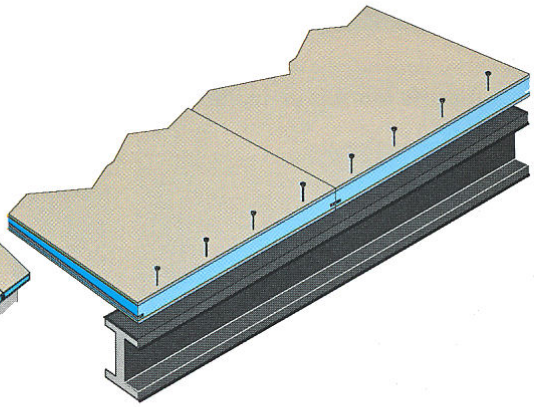
1 - Définissez le type de pose le plus approprié à votre charpente. Dans ce premier exemple, l'absence de chevrons (ou leur mauvais état en cas de réfection), vous conduira à choisir une pose parallèle au rampant.



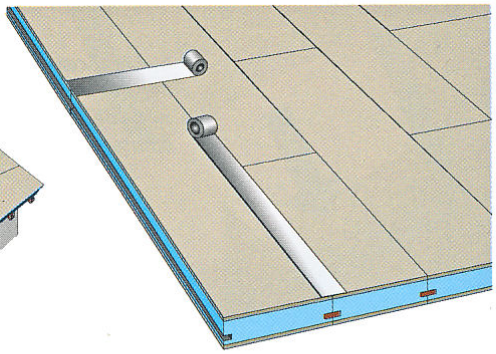
2 - Dans l'exemple ci-dessus, la présence de chevrons conduira au choix d'une pose perpendiculaire au rampant. Selon le type de couverture, il sera peut être nécessaire de poser des liteaux.



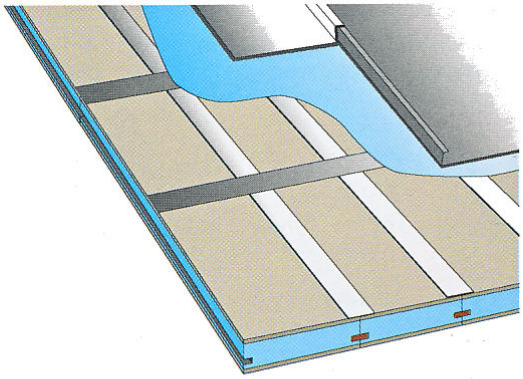
3 - Montez les panneaux jointifs. Selon les modèles, intercalez des clavettes entre chaque panneau. Fixez-les au moyen de pointes torsadées galvanisées.



4 - Pour fixer les panneaux sandwichs sur une charpente métallique, utilisez des vis autotaraudeuses après avoir percé des avant trous au diamètre du taraudage.



5 - Les raccords longitudinaux et transversaux entre les panneaux sont recouverts d'une bande en aluminium auto-adhésive.

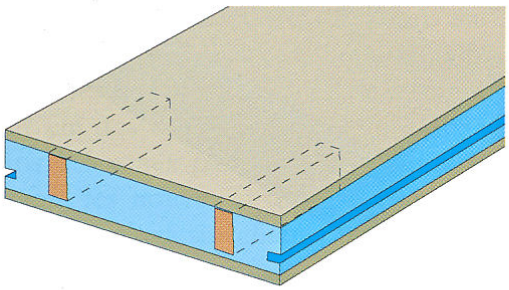


6 - Procédez à la pose de la couverture.

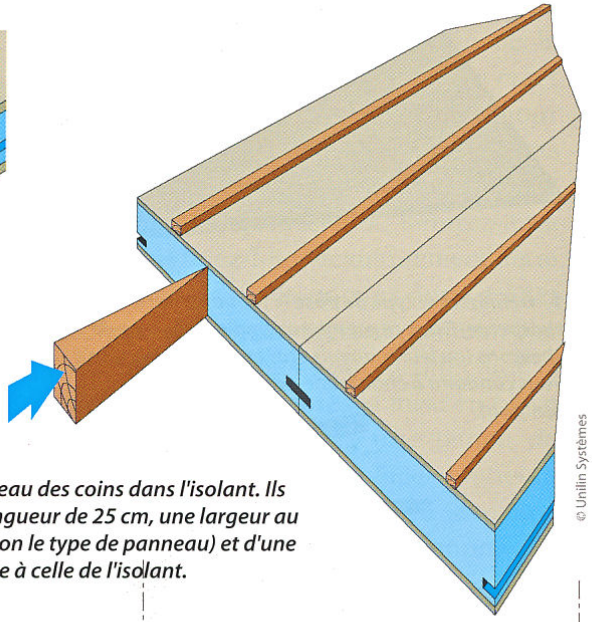
Figure 405 : La pose des panneaux sandwich

Supports de planche de rive sur panneaux sandwich

Supports montés en usine

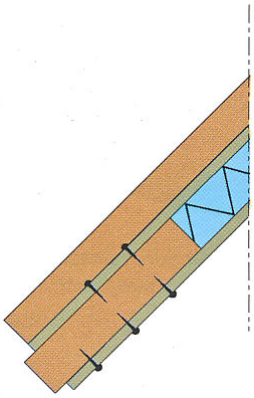


Supports montés sur chantier

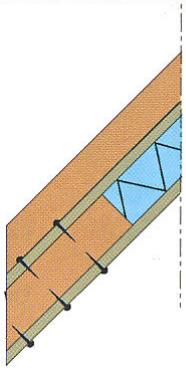


© Unilin Systèmes

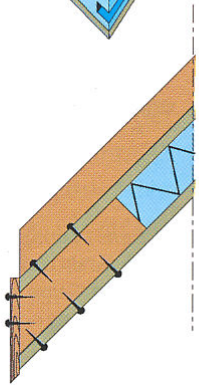
1 - Enfoncez au marteau des coins dans l'isolant. Ils doivent avoir une longueur de 25 cm, une largeur au talon de 3 à 4 cm (selon le type de panneau) et d'une épaisseur équivalente à celle de l'isolant.



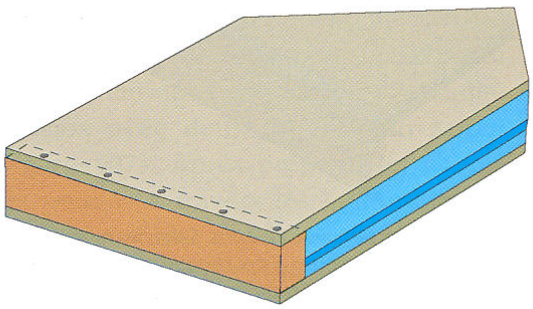
2 - Vissez les coins à travers les parements du panneau sandwich.



3 - Coupez l'ensemble panneau et coins selon l'angle nécessaire à la pose de la planche de rive.



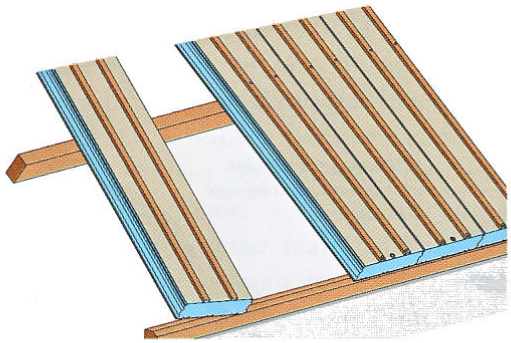
4 - Vissez ou clouez la planche de rive sur le talon des coins.



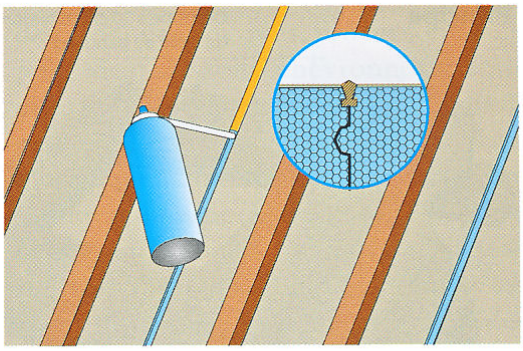
5 - Autre solution avec une pièce de bois rapportée de la largeur du panneau après suppression d'une partie de l'isolant.

Figure 406 : Les supports de planche de rive sur panneaux sandwich

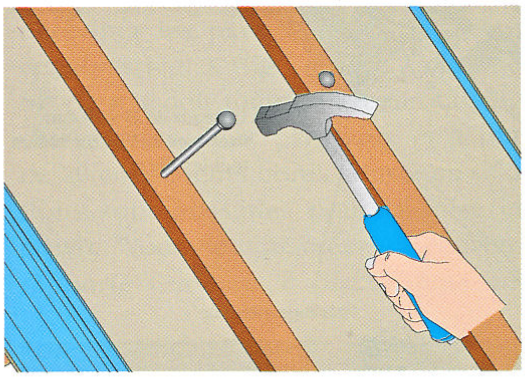
Pose des panneaux sandwich avec contre-liteaux



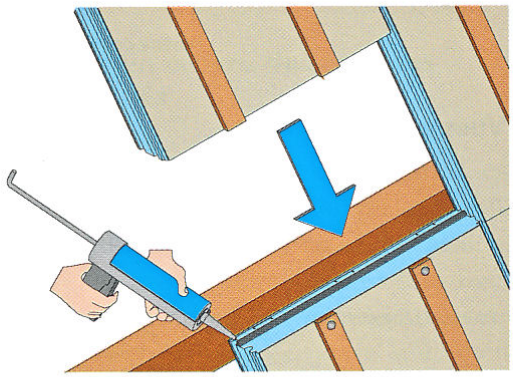
1 - *Montez les panneaux sur la charpente sous-face côté extérieur pour éviter tout risque de dégradation, puis retournez-les sur les pannes au fur et à mesure de l'avancement.*



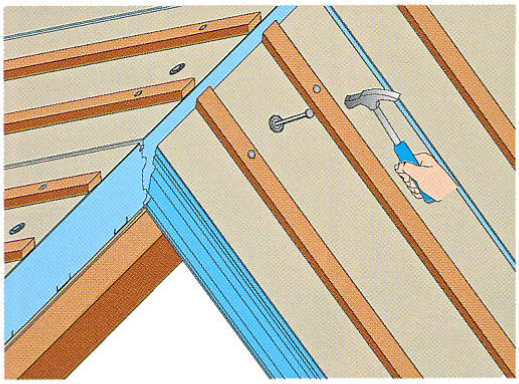
4 - *Après fixation, calfeutrez les joints longitudinaux au moyen de mousse polyuréthane expansive. Elle va remplir la gorge prévue à cet effet en partie supérieure de la jonction des panneaux.*



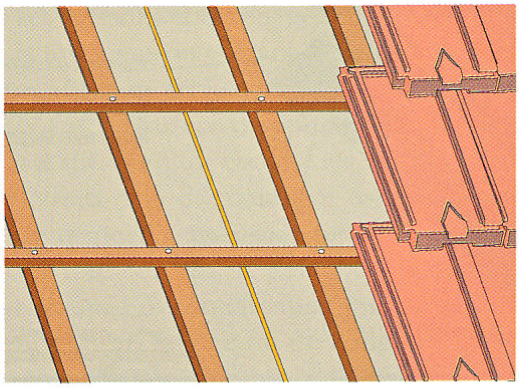
2 - *Clouez les caissons sur les pannes à l'aide de pointes cannelées et crantées en acier galvanisé à raison de 2 pointes par panneau et par appui. Elles sont enfoncées dans les contre-liteaux (avec préperçage).*



5 - *En cas de jonctions transversales (panneaux consécutifs), réalisez un joint d'étanchéité à l'aide d'un cordon de silicone appliqué dans la gorge du panneau avant positionnement du suivant.*



3 - *Dans les zones soumises au vent, compléter la fixation (faîtage, égoût) avec une pointe supplémentaire en milieu de panneau équipée d'une rondelle de répartition.*



6 - *Clouez les liteaux sur les contre-liteaux des panneaux, puis mettez en place la couverture.*

Figure 407 : La pose de panneaux sandwich avec contre-liteaux

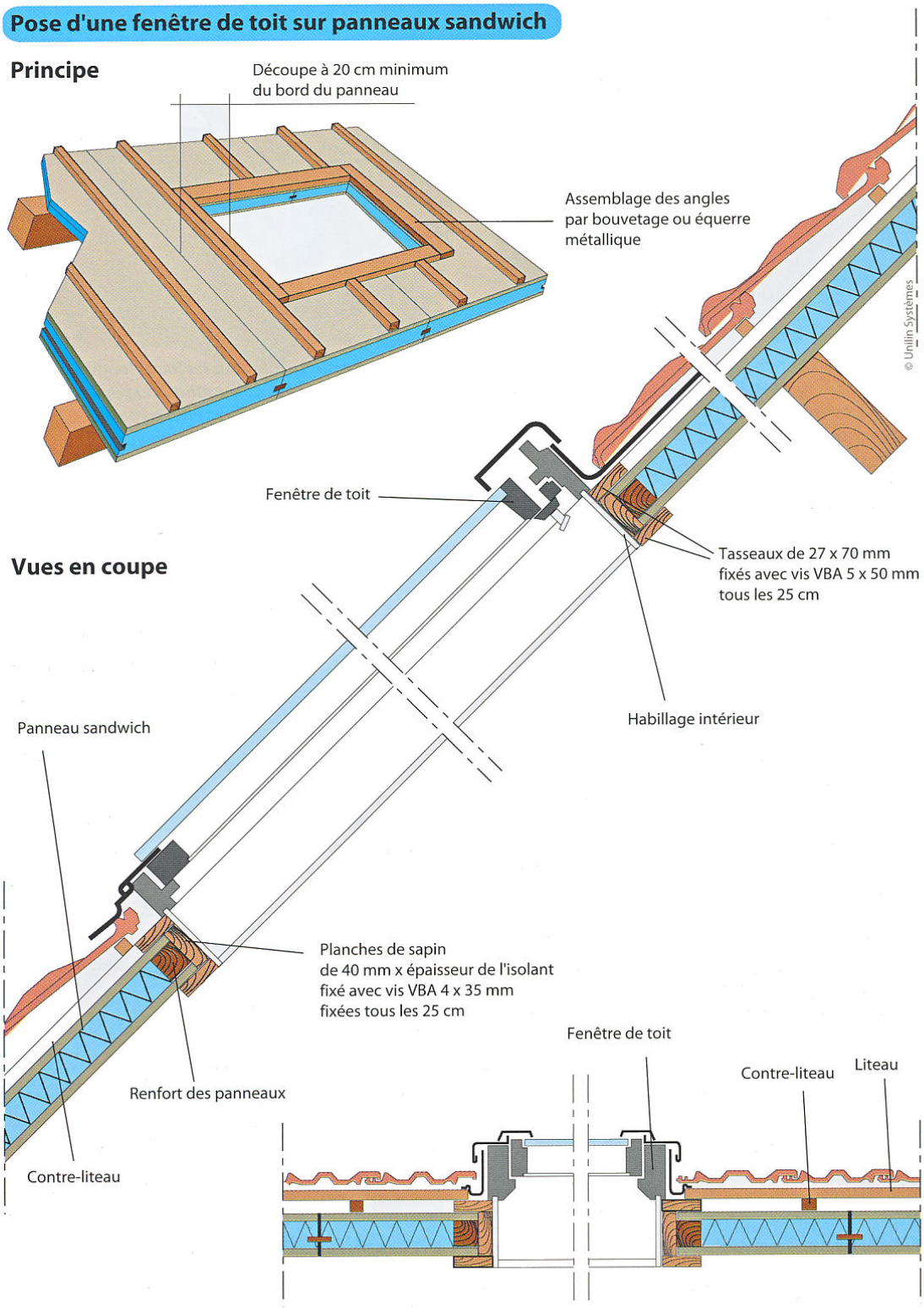


Figure 408 : La pose d'une fenêtre de toit sur panneaux sandwich

Comblez le joint longitudinal avec de la mousse expansive de polyuréthane. Pour l'aboutage, appliquez sur la tranche du panneau en place un cordon continu de mastic silicone d'un diamètre de 8 à 10 mm. En posant le panneau supérieur suivant, écrasez ce joint. Cela permettra l'étanchéité à l'air.

Au niveau du faîtage, réalisez l'étanchéité entre les panneaux au moyen de mousse expansive de polyuréthane. Pour la fixation des planches de rive au niveau de la gouttière, respectez les mêmes dispositions que pour les panneaux sandwich.

Pour la pose des fenêtres de toit, il faut découper les panneaux en respectant certaines règles (figure 408). Une fenêtre de toit doit toujours être installée à cheval entre deux panneaux et à plus de 20 cm de leurs bords. Plusieurs solutions sont possibles pour la mise en œuvre. Vous pouvez créer un chevêtre rapporté renforcé, à placer dans une réserve défoncée dans les panneaux. Le chevêtre reportera les appuis sur les deux pannes les plus proches (voir la pose des caissons chevronnés). Vous pouvez également dégager l'isolant autour du cadre de la fenêtre, puis fixer mécaniquement des lisses en bois. Elles serviront de support à un cadre rapporté pour la fixation de la fenêtre de toit. Les solutions sont différentes selon les fabricants et la nature du parement des caissons chevronnés. D'autres détails constructifs communs sont présentés dans le paragraphe suivant.

© Rockwool

Figure 409 : La découpe des caissons chevronnés

La mise en œuvre des caissons chevronnés

La pose des caissons chevronnés est fondée sur le même principe que celle des panneaux sandwich. Les caissons doivent être perpendiculaires à la ligne d'égout, en appui sur les pannes, avec au moins trois appuis, voire seulement deux pour les éléments recoupés. Il faut une largeur minimale de 4 cm pour les appuis aux extrémités des caissons et 6,5 cm pour les appuis intermédiaires. Les caissons couvrent généralement toute la longueur du versant. Néanmoins, il est possible de réaliser des aboutages. Dans ce cas, la surface d'appui minimale passe à 8 cm. De plus, comme les caissons sont soumis à la dilatation, il est nécessaire de respecter un jeu de 5 mm.

En fonction de la pente de la toiture, recoupez éventuellement les caissons au niveau du faîtage ou de la ligne d'égout (figure 409). Pour éviter de dégrader leur parement, montez-les sur la charpente, sous-face vers le haut. Posez-les à l'avancement.

Fixez les panneaux mécaniquement avec des pointes en L, en acier galvanisé, à

raison d'une fixation par liaison panne/chevron. Positionnez le crochet de la pointe sur la face haute du chevron. Choisissez des fixations dont la hauteur est égale à celle du chevron majorée de 60 mm. Pour certains caissons chevronnés, vous pouvez également utiliser des cavaliers. Posez-les préalablement, au marteau, pour faire pénétrer les ergots dans la face supérieure des chevrons. Pour la fixation, introduisez une vis entre les deux chevrons. La figure 410 présente les deux types de fixations (clous en L et patte métallique). Ces caissons disposent d'une couche d'isolant pour assurer l'étanchéité à l'air entre éléments.

Dans le cas d'une charpente métallique, réalisez un pré-perçage, puis utilisez des vis autoperceuses, à pointe foreuse de 6,3 mm de diamètre, sur une plaquette métallique en acier galvanisé. Fixez la plaquette mécaniquement sur les chevrons. Ce type de fixations est indiqué pour les toitures à forte pente (> 100 %), afin d'éviter le glissement des panneaux.

Si les panneaux reposent sur des pannes dont l'écartement est supérieur à 2 m, il convient de solidariser les chevrons des panneaux entre eux vers le milieu de la portée.

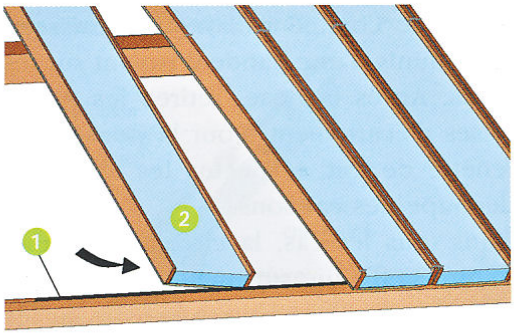
On recouvre généralement la panne sablière d'un joint de mousse imprégnée de bitume.

Si les rives des panneaux ne sont pas pourvues d'un système d'assemblage, réalisez l'étanchéité avec de la mousse expansive de polyuréthane (figure 411). Les joints d'aboutage, de faîtage, de noue, d'arêtier... doivent recevoir le même traitement. Effectuez la pose de la couverture à l'avancement. Bâchez le toit si un délai est nécessaire entre la pose des panneaux et celle de la couverture.

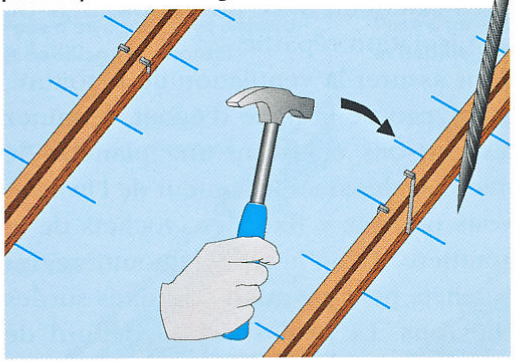
© Rockwool

Figure 410 : Exemples de fixations

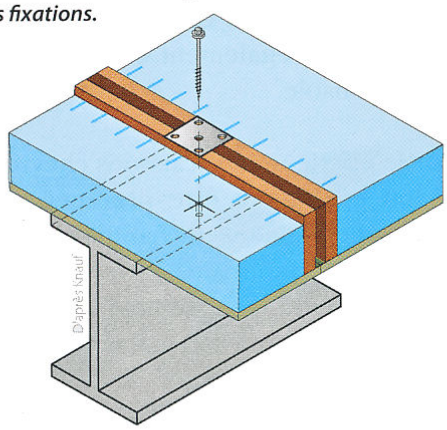
Pose des caissons chevronnés



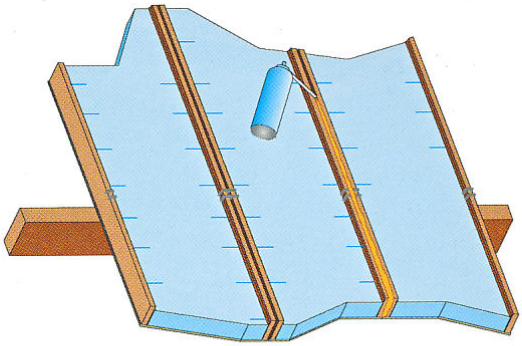
1 - Placez un joint de mousse bitumé sur la panne sablière 1 (selon les fabricants), puis posez les caissons chevronnés sur les pannes 2. Présentez-les à l'envers et retournez-les avant la mise en place pour ne pas endommager la sous-face.



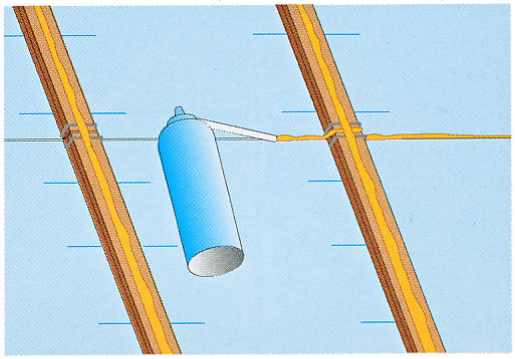
2 - Clouez les caissons à chaque intersection avec les chevrons au moyen de pointes crochets en acier galvanisé. Dans les régions très venteuses, doublez les fixations.



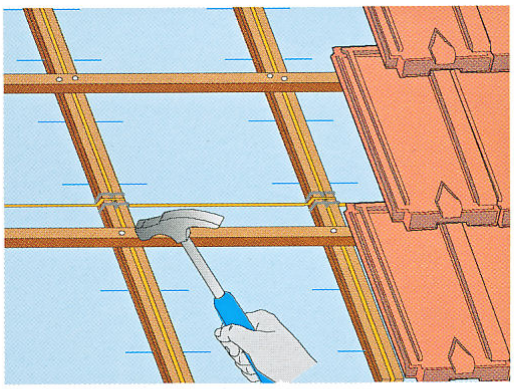
3 - Pour fixer les caissons sur une charpente métallique, utilisez des vis autotaraudeuses, après avoir réalisé un avant-trou au diamètre du taraudage.



4 - Après fixation, traitez les joints longitudinaux au moyen de mousse polyuréthane expansive. La mousse va supprimer les ponts thermiques, assurer l'étanchéité à l'air et solidariser les caissons entre eux.



5 - Exécutez les raccords bout à bout sur les pannes avec un écart de 8 mm qui sera ensuite rempli jusqu'à mi-hauteur à la mousse de polyuréthane. Selon les fabricants, recouvrez avec une couche d'enduit bitumeux.



6 - Arasez la mousse. Clouez les liteaux sur les contre-liteaux des caissons, puis mettez en place la couverture.

Figure 411 : La pose de caissons chevronnés

Caisson avec bande d'étanchéité latérale et tasseaux de maintien

Fixation des caissons sur les pannes

© Rockwool x 3

Vue générale d'un versant après la pose des caissons

Figure 412 :
La pose de caissons chevronnés en laine de roche

La figure 412 illustre la mise en œuvre de caissons chevronnés avec de la laine de roche comme isolant. Les caissons sont munis d'une bande d'isolant sur les côtés. Après la pose, retirez les entretoises d'écartement. Pour la pose d'une fenêtre de toit, respectez les règles de découpe des caissons.
Dans tous les cas, la circulation sur la toiture s'effectue sur une échelle ou sur une planche à tasseaux reposant sur les chevrons.

Les caissons chevronnés sont adaptés à une isolation thermique par l'intérieur, par l'extérieur, avec un double mur ou une isolation répartie.
Pour assurer la ventilation de la toiture, au niveau de la ligne d'égout, terminez les caissons en fixant une planche de rive sans dépasser la hauteur de l'isolant. Vous pourrez y fixer les crochets de la gouttière. Selon le type de gouttière, les crochets peuvent aussi être fixés sur les chevrons. La réalisation du débord de toiture peut suivre plusieurs méthodes (figure 413).
Dans le cas d'un débord d'égout, le porte-à-faux dépend de la charge de la toiture. Il peut également être supporté par une console.

La partie inférieure des caissons chevronnés doit également être protégée. On réalise généralement un habillage de la sous-face. Les fabricants proposent des caissons chevronnés spécifiques pour les débords de toiture. Ils sont pourvus de chevrons prolongés, sans isolant, avec ou sans parement de sous-face. Vous pouvez également installer des faux chevrons de débord. Pour ce faire, vous devez décaisser l'isolant le long des chevrons du caisson. Fixez-les ensuite sur la sablière et la première panne. Vous

Panneaux de toiture : traitement de l'égout

Ventilation

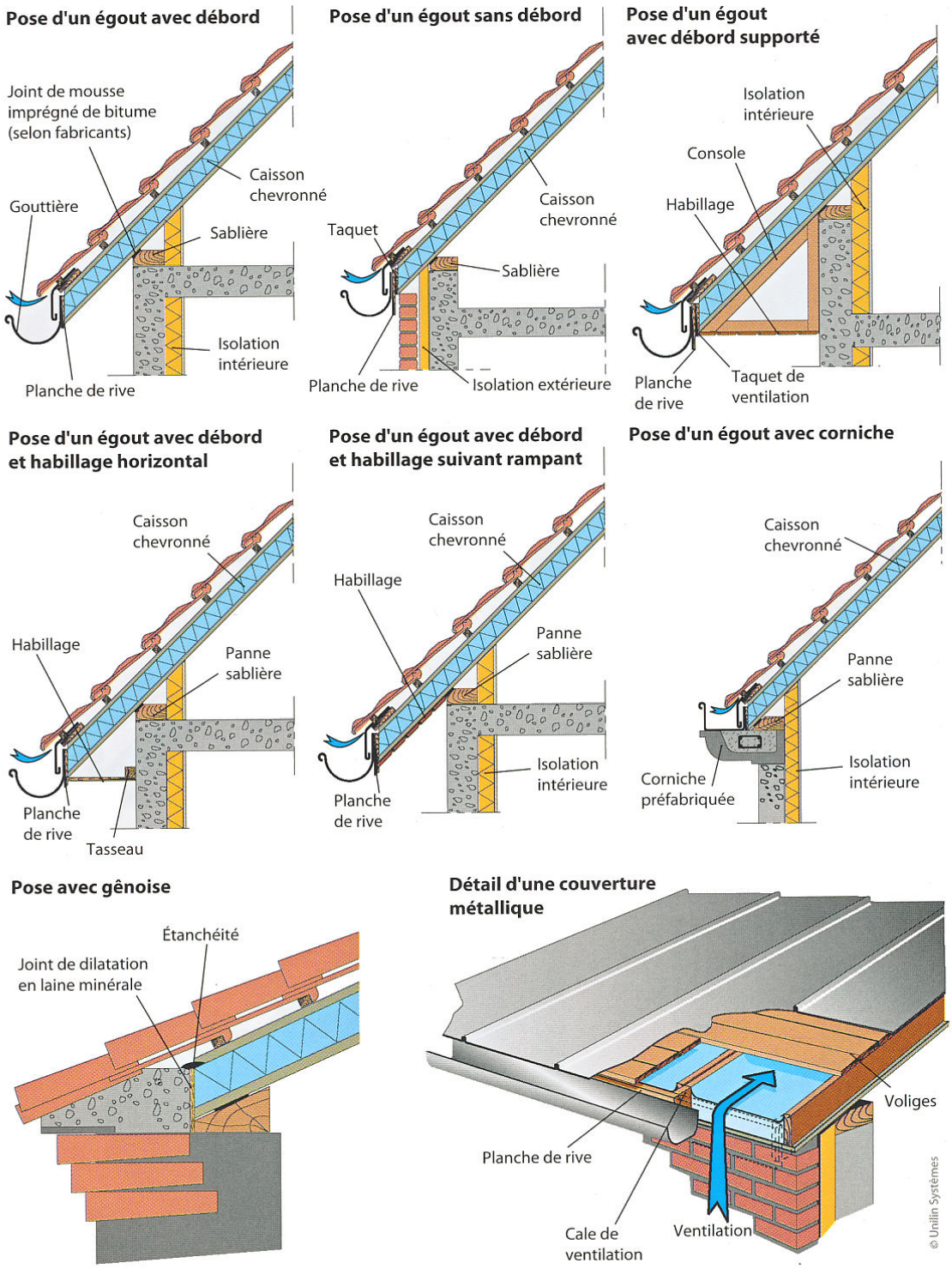
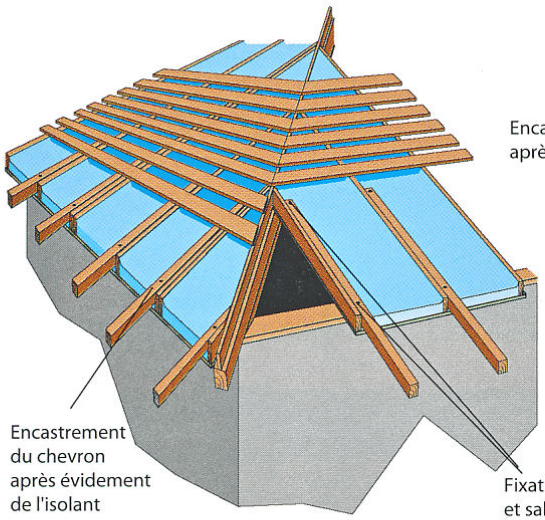


Figure 413 : Les détails de mise en œuvre des caissons chevronnés (1/3)

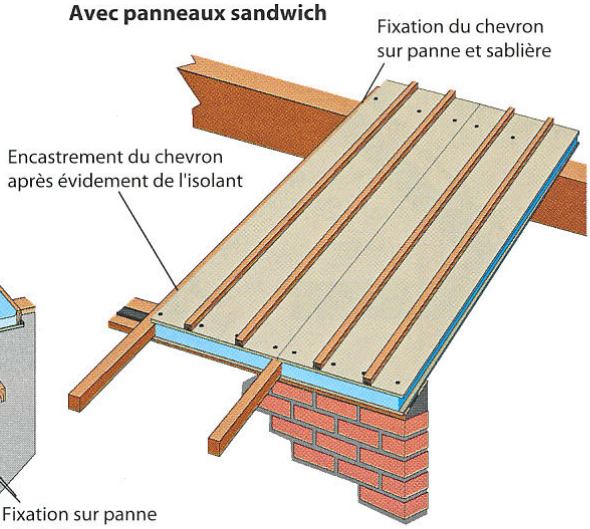
Points singuliers de la pose de panneaux de toiture

Pose d'un égout sur chevrons apparents

Avec caissons chevronnés

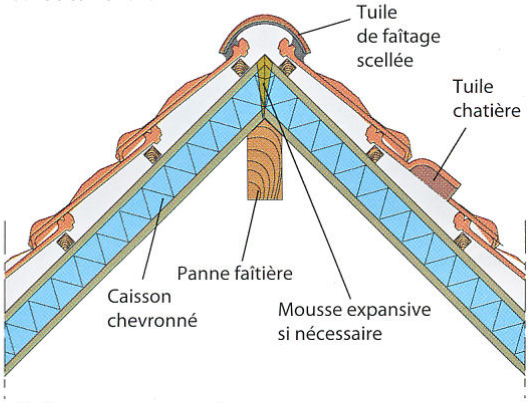


Avec panneaux sandwich

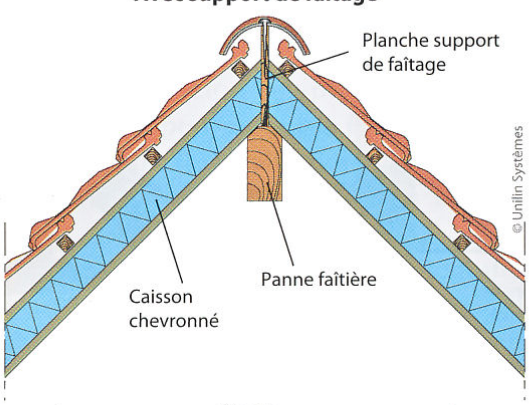


Faîtage double pente

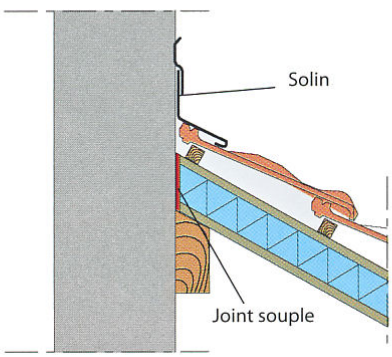
Avec tuile faîtière scellée



Avec support de faîtage



Faîtage monopente



Noue

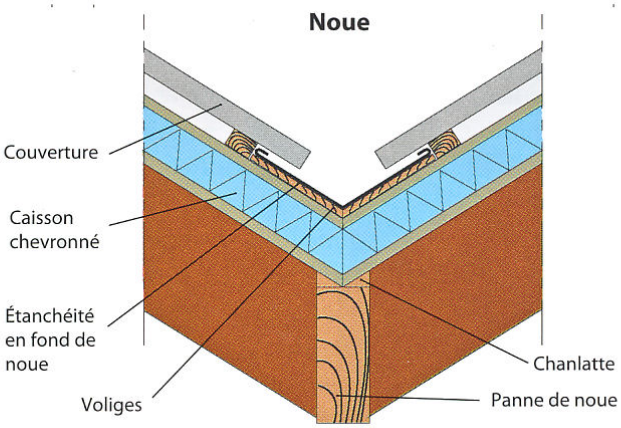
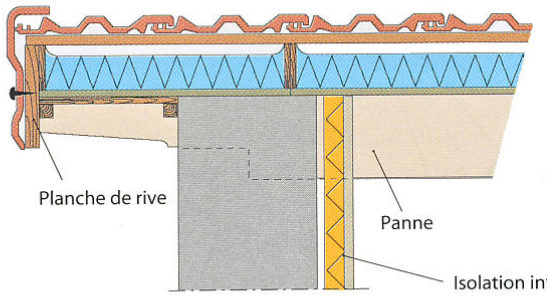


Figure 414 : Les détails de mise en œuvre des caissons chevronnés (2/3)

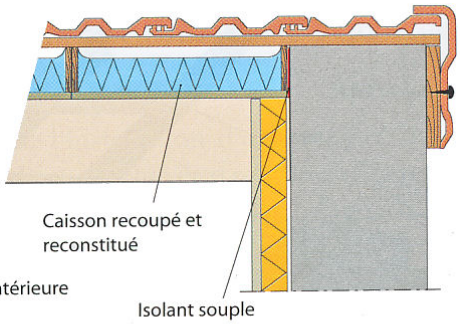
Panneaux de toiture : traitement des rives et des cheminées

Débords de rive en pignons

Avec panne dépassante



Avec rive encastrée entre pignons



Traversée de cheminée

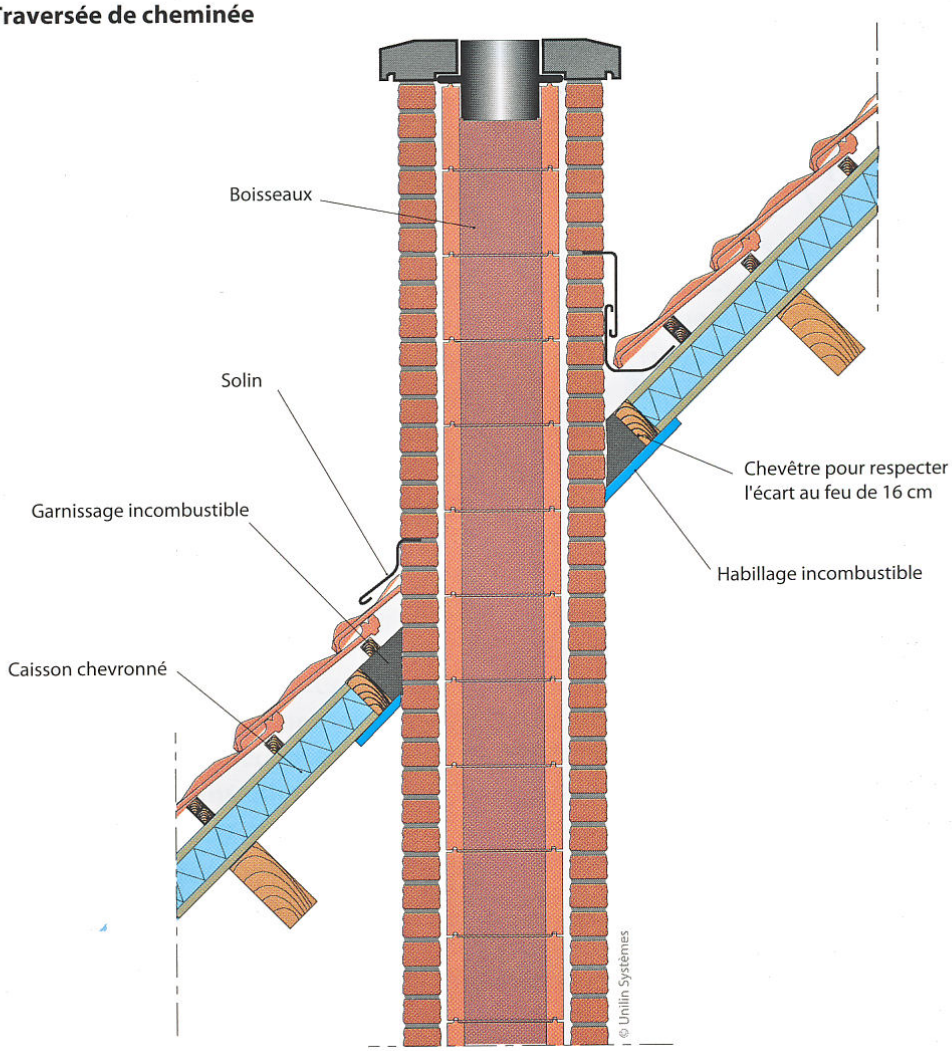


Figure 415 : Les détails de mise en œuvre des caissons chevronnés (3/3)

Pose d'une fenêtre de toit sur caissons chevronnés

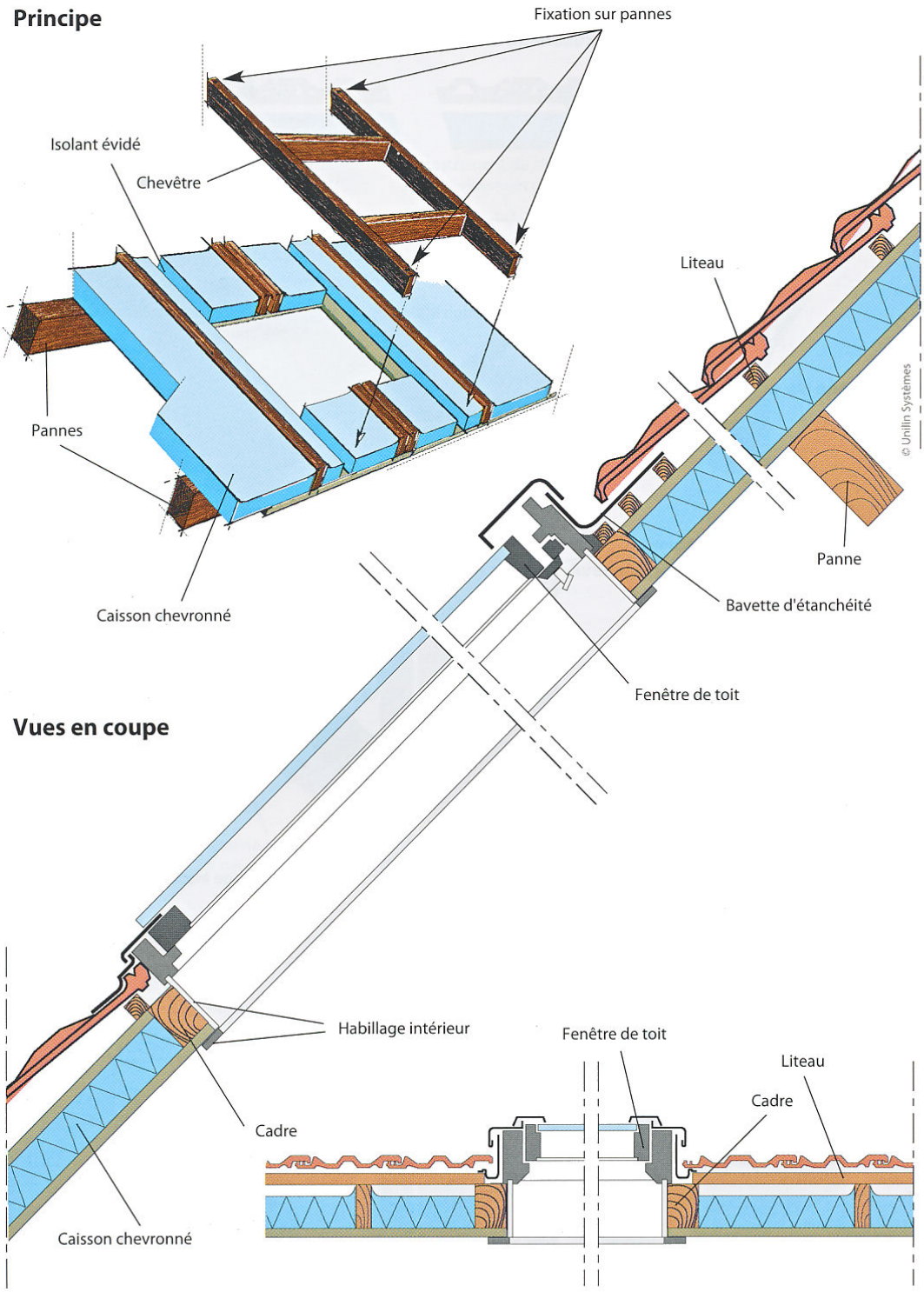


Figure 416 : La pose d'une fenêtre de toit sur des caissons chevronnés

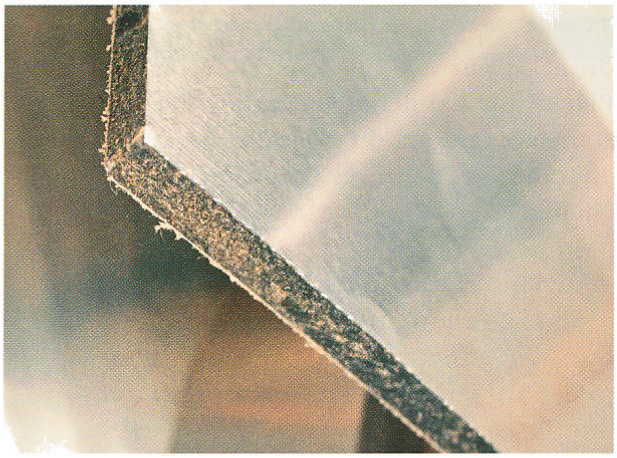
pouvez adopter la même méthode pour des caissons chevronnés (figure 414).
Au niveau du faîtage, comblez le joint entre les caissons avec de la mousse isolante expansive. Vous pouvez réaliser l'arrêt sur une planche de support de faîtage. Dans le cas d'une toiture à simple pente, créez un joint de dilatation entre la maçonnerie et l'extrémité des panneaux, que vous comblerez avec un mastic souple. Au niveau de la couverture, canalisez les eaux de ruissellement grâce à un solin.
Au niveau d'une noue, les panneaux sont supportés sur la panne de noue et calés par des chanlattes.

Au niveau des pignons, les caissons chevronnés peuvent déborder ou s'arrêter au nu intérieur de la maçonnerie. Si vous souhaitez les faire déborder, les pannes doivent également être débordantes. Si la panne n'est pas traversante, le débord ne pourra pas dépasser 15 cm. Fixez mécaniquement une planche sur la rive des caissons. Habillez la partie débordante de la sous-face du caisson (figure 415).
Si le caisson vient en butée contre la maçonnerie, ménagez un jeu de 5 à 10 mm, que vous comblerez avec de la mousse isolante expansive. Si la taille du dernier caisson ne correspond pas à l'espace entre l'avant-dernier caisson et le mur, recoupez-le. Pour des largeurs inférieures à 30 cm, découpez le caisson et l'isolant, puis installez-les en réalisant un joint entre le mur et l'isolant. Si l'espace restant est supérieur à 30 cm, recoupez le panneau à la mesure, décaissez l'isolant sur la largeur d'un chevron, puis vissez de nouveau le chevron sur la sous-face.
Au niveau d'une cheminée, respectez la distance d'écart au feu, de 16 cm minimum. Réalisez un chevêtre, autour du conduit de cheminée, sur lequel prendront appui les caissons chevronnés. Placez un habillage incombustible en sous-face autour du conduit. Il servira au coulage de mortier autour de la cheminée.

Pour l'installation d'une fenêtre de toit, réalisez un chevêtre renforcé (figure 416). Décaissez l'isolant des panneaux pour permettre l'intégration du chevêtre, qui doit reposer et être fixé sur les pannes les plus proches.

Les matériaux à changement de phase

Rappelons que ces matériaux, bien que très intéressants, ne sont pas des isolants mais constituent une aide pour améliorer l'inertie (voir page 367). Si la mise en œuvre des plaques de plâtre avec MCP est en tout point similaire à celle des plaques de plâtre classiques, nous nous intéresserons plus particulièrement à la pose des panneaux de copolymères.
Ces panneaux, d'une dimension de 1 000 x 1 198 mm, sont recouverts sur chaque face d'une feuille d'aluminium et de ruban adhésif également en aluminium, sur leurs chants.
Manipulez ces panneaux précautionneusement afin d'éviter d'endommager leur surfaces et angles. Pour les recouper à la mesure, utilisez un cutter, guidé par une règle. Entaillez la première feuille d'aluminium, puis le copolymère en plusieurs passes. Pliez la partie découpée d'un coup sec pour découper le film aluminium de l'autre face. Recouvrez la découpe d'un ruban adhésif en aluminium, généralement fourni avec les



1 Procurez-vous des plaques copolymères.

4 Vissez la plaque sur les fourrures métalliques.

2 Protégez la découpe avec du ruban adhésif aluminium.

5 Posez les plaques de façon jointive.

3 Présentez la plaque découpée sur l'ossature métallique.

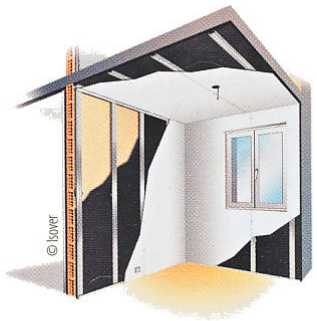
6 Réalisez l'étanchéité entre les plaques avec du ruban adhésif en aluminium.

© Dupont Energain x 6

Figure 417 : La pose de plaques de matériaux à changement de phase

panneaux. Il est conseillé de porter des gants pour effectuer les coupes, car les fines feuilles d'aluminium sont tranchantes.
Pour installer les plaques dans les combles, il faut d'abord créer une ossature métallique. Ensuite, fixez les plaques, puis le parement en plaques de plâtre (figure 417).
Les panneaux de copolymères peuvent jouer le rôle de pare-vapeur, à condition de rendre étanche les joints entre panneaux et les jonctions avec les maçonneries et les éléments de charpente laissés apparents, au moyen de ruban adhésif en aluminium. Vous pouvez également utiliser un mastic souple d'étanchéité aux jonctions avec les murs et les pannes, si leur état de surface le permet.
Découpez les plaques aux mesures, comme les plaques de plâtre, puis vissez-les sur l'ossature métallique. Effectuez la pose à l'avancement bord à bord. Réalisez les raccords en about, sur une ligne d'ossature.

Les solutions acoustiques minces



Deux principaux systèmes acoustiques minces sont disponibles, dont la mise en œuvre est présentée dans les paragraphes suivants.

Le premier met en œuvre des complexes isolants acoustiques. On les installe sur des lignes d'ossature spécifiques. Le traitement complet de la pièce, y compris les parois verticales, est la solution la plus sûre.

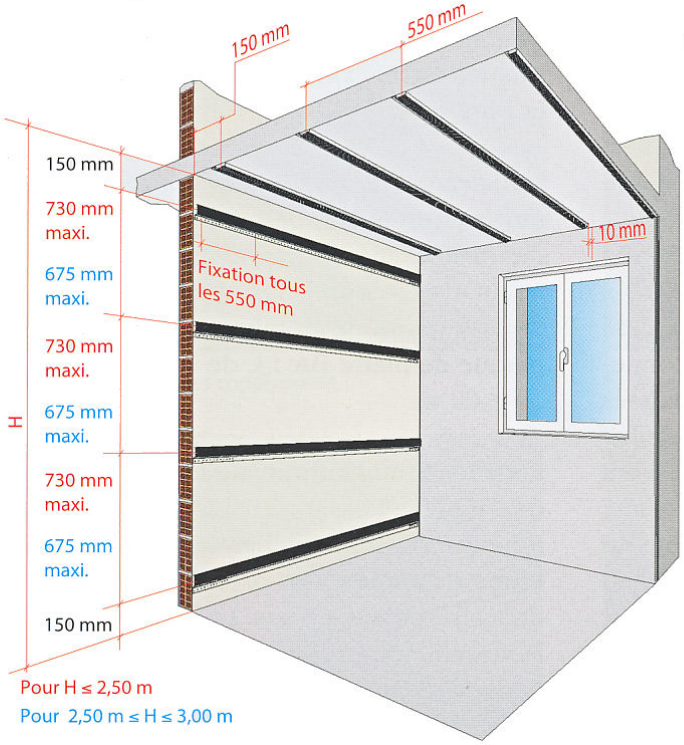
Les surfaces ne nécessitent pas de préparation particulière. Le matériel comprend des profilés métalliques de 3,00 m de longueur et des complexes spéciaux comme de la mousse de polyéther graphite sur plaque de plâtre BA 13, de 1,20 x 2,50 m ou 3,00 m.

Pour isoler le plafond (figure 418), fixez des lignes d'ossature mécaniquement, tous les 55 cm, avec des vis et des chevilles adaptées. La première fixation doit être posée à 5 cm au maximum de l'extrémité du profilé. Placez la première ligne d'ossature à 15 cm au maximum de la paroi de départ. Posez les lignes d'ossature suivantes en respectant un entraxe de 55 cm. Au niveau des raccords entre plaques, doublez les lignes d'ossature. Leur extrémité ne doit pas être en contact avec la paroi perpendiculaire. Laissez un jeu de 1 cm. Fixez les plaques de complexe perpendiculairement aux lignes d'ossature, placées tous les 30 cm, avec des vis TTPC de 45 mm. Les fixations doivent être situées à plus de 8 cm des bords amincis et de 4 cm des bords droits.

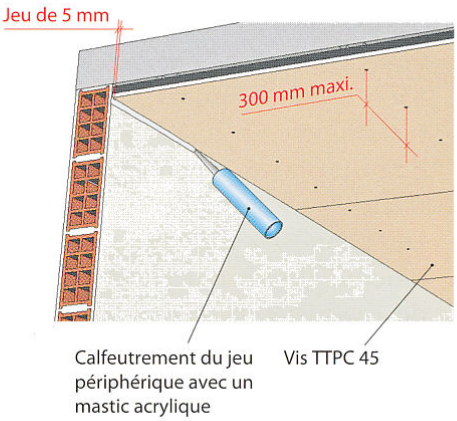
Ménagez un jeu de 5 mm entre les complexes et les parois verticales. Si seul le plafond est traité, comblez cet espace avec un mastic acrylique.
Pour le traitement des murs, fixez les lignes d'ossature horizontalement. Au sol et au plafond, installez les premières lignes d'ossature à 15 cm des changements de plan.

Détails de mise en œuvre des complexes isophoniques

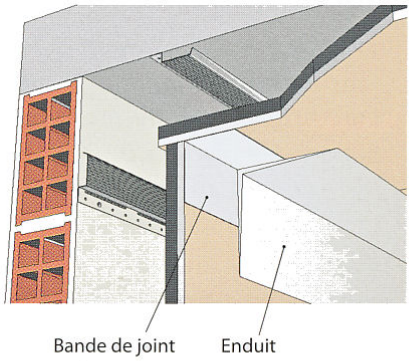
Pose des lignes d'ossatures



Plafond traité seul

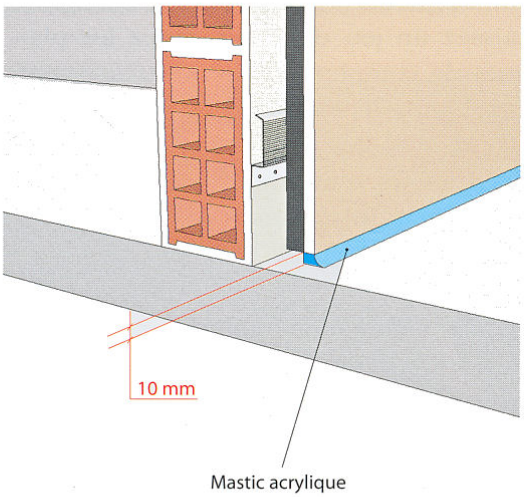


Murs et plafond traités



Traitement des parties basses

Dans les pièces sèches



Dans les pièces humides

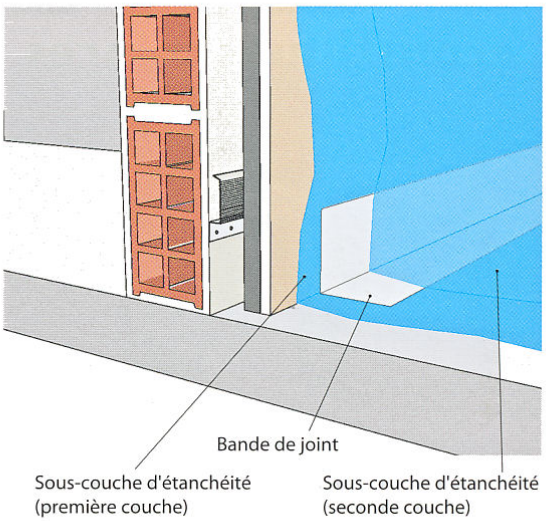


Figure 418 : Les détails de mise en œuvre de complexes isophoniques

Pour des hauteurs sous plafond inférieures ou égales à 2,50 m, prévoyez deux lignes d'ossature intermédiaires également réparties, en respectant un entraxe maximum de 73 cm. Pour les hauteurs sous plafond jusqu'à 3 m, placez trois lignes d'ossature, réparties avec un entraxe maximum de 67,5 cm.
Posez les complexes perpendiculairement aux lignes d'ossature, avec des vis TTPC 45 tous les 30 cm et jamais à moins de 8 cm des bords amincis. Découpez les complexes de la hauteur du sol au plafond, minorée de 1 cm. Placez-les en butée sur le plafond préalablement traité. Comblez le jeu laissé libre en pied avec un mastic acrylique.
Dans les pièces humides, il est impératif de traiter les complexes avec une sous-couche d'étanchéité.

Un autre procédé d'isolation acoustique utilise une laine de verre phonique de couleur noire (figure 419). Elle s'installe avec une ossature métallique comme pour les doublages isolants et des supports à rosace de faible épaisseur.

Réalisez la pose sur les parois verticales comme pour un doublage sur ossature métallique. En fonction de l'épaisseur requise et de la hauteur des appuis choisis, installez une lisse basse au sol et une lisse haute au plafond. Respectez un pas de 0,60 m pour les fourrures. Aux murs, tous les 1,35 m à partir du sol, fixez mécaniquement des appuis intermédiaires.
Découpez la laine minérale à la hauteur d'étage, majorée de 1 cm. Embrochez-la dans les appuis intermédiaires, et

Figure 419 :
La laine de verre acoustique

© Isover

La préparation des lés d'isolant

La mise en place des fourrures

Figure 420 : La mise en œuvre d'une isolation acoustique mince sur les murs

maintenez-la en plaçant les rosaces sur les têtes des appuis.
Introduisez les fourrures entre les lisses hautes et basses, puis emboîtez-les sur les rosaces des appuis (figure 420). Réglez l'aplomb et la planéité en vissant ou en dévissant les rosaces.

Réalisez le parement avec des plaques de plâtre standard, prépeintes ou même acoustiques pour améliorer encore les performances. Pour plus d'informations sur les détails de pose des plaques et des finitions, reportez-vous page 414.
Pour la pose au plafond, tracez le niveau bas des ossatures sur les quatre murs. Sur deux des murs, fixez mécaniquement des lisses, destinées à recevoir l'extrémité des fourrures métalliques. Espacez les lignes d'ossature tous les 50 cm. Fixez les appuis tous les 1,20 m au maximum. Fixez les premiers appuis aux quatre angles de la pièce. Attachez-y un cordeau pour déterminer l'emplacement des appuis intermédiaires.
Découpez la laine minérale à la longueur du plafond majorée de 1 ou 2 cm, puis embrochez-la sur les appuis (figure 421). Maintenez-la en place en vissant les rosaces sur les têtes d'appui.
Emboîtez les fourrures sur les rosaces. Réglez le niveau en les tournant. Vissez

les plaques de plâtre sur les ossatures avec une fixation tous les 30 cm. Pour plus de détails de pose à propos d'un plafond rapporté, reportez-vous page 565.

Figure 421 : La pose de la laine minérale phonique en plafond

La réalisation d'un puits canadien

Même si l'on trouve des kits comprenant tout le nécessaire pour réaliser un puits canadiens, ils ne dispensent pas de faire une étude en fonction des besoins : puits canadien simple, avec une VMC simple flux ou double flux... Un bureau d'études spécialisé saura dimensionner le puits canadien dont vous avez besoin en fonction de votre système de ventilation. Il déterminera le trajet du puits, avec une épure de terrassement, calculera les pertes en charge, définira la puissance du ventilateur et pourra éventuellement chiffrer les économies d'énergie que vous ferez.

Si le principe du puits canadien semble relativement simple (voir page 357), il existe de nombreuses variantes d'installation qui dépendent de multiples facteurs : la nature du terrain et du sous-sol, la déclivité et la surface. Le type d'habitation entre également en jeu : sur sous-sol ou sur vide sanitaire, de plain-pied, etc.
Dans un contexte classique, on installe un puits canadien avec une VMC double flux. Le collecteur est enterré avec une pente de 2 % vers l'habitation et y pénètre en traversant le mur du sous-sol. L'évacuation des condensats s'effectue côté intérieur (figure 422), par l'intermédiaire d'un double té muni d'un siphon et d'un bouchon de visite.

Dans le cas d'une maison sur vide sanitaire ou sur terre-plein, cette solution n'est pas envisageable. Il faut donc prévoir un autre système pour la visite ou l'évacuation des condensats.
Une solution consiste à installer un regard intermédiaire avant la pénétration dans l'habitation du collecteur (figure 423). La pente sera donnée vers ce regard.
Si le sous-sol le permet, c'est-à-dire s'il n'y a pas d'eau, vous pouvez équiper le regard d'un fond drainant pour évacuer les condensats. Dans le cas contraire, prévoyez un regard totalement étanche et une pompe de relevage. Il doit être étanche, sinon une remontée d'eau noierait le collecteur et rendrait le puits canadien inopérant. Vous pouvez ensuite faire pénétrer le collecteur dans l'habitation par le plancher sur vide sanitaire ou en remontée de soubassement.

Vous pouvez aussi installer un regard sous la borne de prise d'air. Dans ce cas la pente du collecteur est à l'inverse de la solution classique. Le regard peut

© Helios

Figure 422 : La pénétration du puits canadien dans l'habitation

également être drainant ou étanche, avec une pompe de relevage (figure 424). Le tuyau d'évacuation des condensats et l'alimentation de la pompe électrique de relevage doivent passer à travers le corps de la prise d'air, par l'intermédiaire de presse-étoupes. Réalisez une étanchéité parfaite au raccordement entre le collecteur ou le regard et la prise d'air. On utilise généralement pour cela un joint. Le collecteur doit remonter d'au moins 20 cm dans la prise d'air (figure 425). Placez un joint résilient à la traversée du collecteur, dans le socle en béton de la borne de prise d'air.
Réalisez également l'étanchéité des raccords entre les éléments de collecteurs et les tés de répartition éventuels. Pour la pénétration dans l'habitation, utilisez un fourreau de protection.
Selon le débit recherché et les contraintes du terrain, vous pouvez réaliser un collecteur en circuit simple ou à branches multiples.

Réalisez la tranchée d'enfouissement au moyen d'une mini pelle mécanique, selon la longueur et le cheminement nécessaires prédéterminés. Attention, à partir d'une certaine profondeur et en fonction du type de sol, vous devrez blinder la fouille afin d'éviter les éboulements. Cette profondeur est généralement atteinte à partir de 1,30 à 1,50 m.
Réglez le fond de fouille en retirant les éléments durs et pointus, puis compactez-le. Il doit présenter une pente de 2 % jusqu'au point le plus bas du réseau, selon la configuration du système : entrée dans l'habitation, un puisard ou un puisard sur borne pour l'évacuation des condensats.
S'il existe déjà une tranchée pour les différents réseaux, vous pouvez éventuellement l'utiliser pour le collecteur. Veillez toutefois à respecter les distances réglementaires entre les canalisations. Installez le collecteur du puits canadien en fond de fouille.

Réalisez un lit de sable fin (0/4) de 10 à 15 cm d'épaisseur, puis installez le collecteur. Ajoutez un peu de sable autour du tuyau, en compactant. Versez une nouvelle couche de sable de 20 cm d'épaisseur. Compactez, avec un compacteur léger, une plaque vibrante ou en humidifiant le sable. Remplissez ensuite la tranchée avec de la terre végétale débarrassée de ses pierres, puis compactez de nouveau. La dernière partie du remblaiement en surface peut se faire avec le reste de terre.

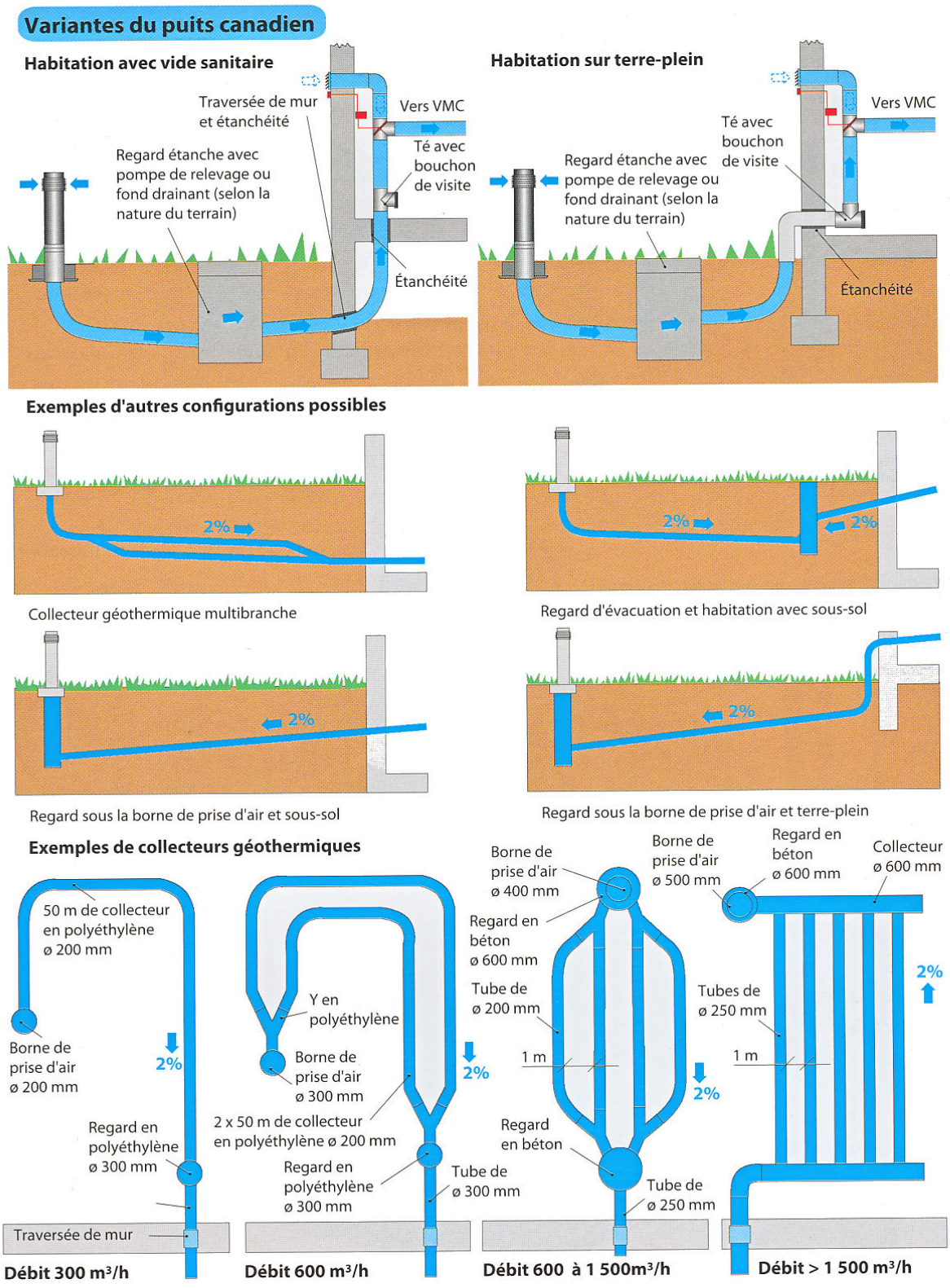


Figure 423 : Les variantes de puits canadien

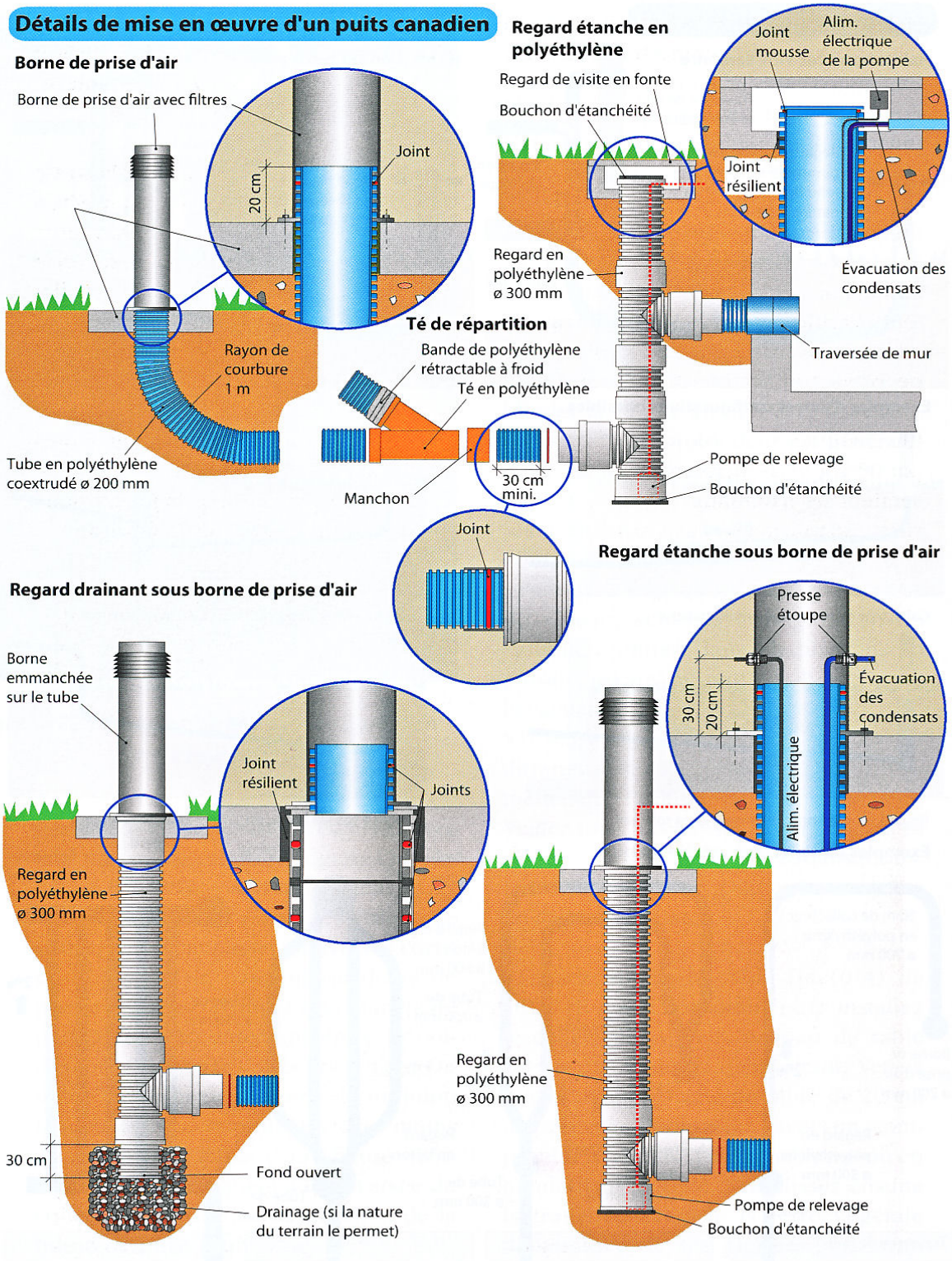


Figure 424 : Les détails de mise en œuvre d'un puits canadien

Ne négligez pas le compactage : meilleur il est, plus grand sera l'échange géothermique.

En ce qui concerne la prise d'air, elle consiste généralement en une borne située à 1 m au-dessus du sol. Choisissez un modèle en acier inoxydable, laqué, galvanisé, en aluminium ou en cuivre. Son diamètre doit être adapté au collecteur. Vérifiez la protection à la pluie : ailettes et chapeau, grille à mailles fines de protection et préfiltre (figure 427). Vérifiez et entretenez régulièrement le filtre, afin que le passage de l'air ne soit pas freiné. Les performances du puits seraient alors diminuées et le ventilateur surconsommerait de l'électricité. Installez des filtres en forme de chaussette, les plus performants, puisqu'ils bénéficient d'une surface d'échange importante et s'encrassent moins vite.

Sur une assise stable, autour de la sortie du collecteur, coulez un socle en béton d'au moins 10 cm d'épaisseur, puis fixez-y mécaniquement la borne de prise d'air. Après remplissage de la fouille, réalisez une étanchéité entre le socle et le collecteur avec un joint résilient. Compactez l'assise afin d'éviter tout risque de tassement du socle. Le collecteur doit pénétrer sur une longueur d'au moins 20 cm dans la borne. Pour l'étanchéité avec la prise d'air, utilisez un joint torique ou le joint préconisé par le fabricant.

© Scop Fabitat

Figure 425 : La vue du collecteur dans la borne de prise d'air

1 On réalise la tranchée.

4 Le collecteur est posé sur un lit de sable.

2 On installe le regard.

5 On ajoute du sable sur le collecteur.

3 On amène le collecteur jusque dans l'habitation.

6 On répartit le sable et on le compacte.

© JM Delcamp x 6

Figure 426 : La pose du collecteur d'un puits canadien

Figure 427 : Exemple de filtre

Figure 428 : Le registre by-pass

À l'intérieur de l'habitation, effectuez le raccordement du collecteur jusqu'à la VMC, au moyen de tubes en aluminium ou en acier galvanisé.
Ménagez une prise d'air directe sur l'extérieur avec une grille de protection.

Elle est nécessaire en demi-saison. Installez un registre by-pass pour la commande de permutation entre le puits canadien et la prise d'air extérieur. Préférez un modèle à commande automatique (figure 428).

Index

Symboles

ΔLw 75
λ 15
μ 24
χ 83

A

ACERMI 105, 108, 123, 317
ACOTHERM 226
acoustique 65,320,653
  installations sanitaires 76
  réglementation 77
acrotère 301,446,545
adobes 213
aérogel 166,221
AEV 227
affaiblissement acoustique 321
aiguilletage 157
air
  renouvellement 354
aluminium 176,230,652
amplitude thermique 45
angles 419
  raccords 410
antimite 160
apports solaires 38
appuis intermédiaires 398
arase 506
arbaletrier 279
architecture bioclimatique 36
argile expansée 129,186,316
argon 218
autoconstruction 486
auvents 37

B

balcon 89,99,483,545,548
bande
  de désolidarisation 550
  de joint 415
bardage 195,255,455
bardeaux
  bitumés 620
bascule
  suspente 568
bauge 212
BBC 60
béton
  allégé 154
  cellulaire 175,246,486
  de chanvre 135
bloc-baie 442
blocs
  bimatières 182
  constructifs isolants 477
  d'angle 495
  de béton cellulaire 175
  de béton creux d'isolation 238
  de chanvre 204
  de coffrage isolants 191, 248,508
  en billes d'argile expansée 186
  en pierre ponce 184
  monomur en terre cuite 187
  rupteurs de ponts thermiques 444
blower door 33
bois 148
  minéralisé 154

plateforme ou ossature 194
rondins empilés 205
boîte
de combles 587
d'encastrement 521
d'encastrement étanche 387
bords amincis 415
Breeam 63
briques 187,500
à bancher 502
crues 213
d'about 502
en bois 208
linteau 500
poteau 500
bruits 66,303
aériens 70
d'équipement 75
d'impact 74,558
niveau de pression pondéré 75
Building America 63

C

caissons 280
chevronnés 297,630,643, 646
calé/chevillé 435
calepinage 558
cale-plaque 386
caméra thermographique 33
cancérogénicité 120
cannabis
indica 133
sativa 131
capacité thermique 42
caractéristiques environnementales 113
Casa Clima 63
cavalier 566
CE 105
Cekal 226,227
cellular glass 125
cellulose 147
certifications 105,227
Cekal 227
sous-couches isolantes 317
CESI 62
CG 125
chaînages 491,502,535,542
chaleur 15
chanvre 131
chape
flottante 272,550,554
sèche 317,329,561,562
chapeau 535
charpentes
industrialisées 278,602
traditionnelles 277,288
chêne-liège 141
chènevis 133
chèvenotte 132,135
chevilles 578
étoile 464
chevrons 286,291,466,596
CIRC 120
cisaille grignoteuse 374
climat 14
clins 455,468
cloisons 515
de distribution 304
légères acoustiques 522
séparatives 307
CO_2 14,112,118,148,165, 168
coco 139
Cocos Nucifera 139
coefficient
de transmission surfacique U 20
lambda 15
Uw 223
collage 507
collecteur 659
combles 324,581
à entrait retroussé 277
à la Mansart 277
aménageables 285,292, 296,592
dalle 343
ossature métallique 599
perdus 280,282,586
compacité 35
complexes
de doublage 232,374
isophoniques 654
rainurés 388
conception bioclimatique 35,61
condensation 22
conduction 15
conductivité thermique 15, 107
confort
acoustique 70
d'été 46
consommation d'énergie 53
construction
à colombages 135
à ossature bois 194
en béton cellulaire 180
en briques crues 213
en madriers 207
en matériaux naturels 205
en paille 203
en pisé 209
en rondins empilés 205
en terre 201
en terre crue 208
poteaux poutres 196
contre-chevrons 291,624
contre-cloisons 237
maçonnées 421
contre-liteaux 296,626,641
convection 15
cordeau 598
corkoco 139
correction acoustique 70
coton 144
coulisse 474
couvertine 301
couverture 632,635
couvre-joint 572
CSTB 164
CSTB certified 105,227

D

dalle
de combles 343
de toiture 493
en béton 549
flottante 265
sur terre-plein 523
dB 66

débordement du toit 37
décibels 72
déperditions thermiques 33, 34
déphasage 44
  thermique 45
diagnostic de performances énergétiques 64
diagramme
  de Mollier 23
  thermique 87
diffusivité 43
DnT, A 72
DnT, w 72
doublage 241,405
  points singuliers 412
  sur ossature 409
double mur 253,262,474
doubles vitrages 72
DPE 64
drainage 502
duvet 161

E

écaille 456
écart au feu 626
échanges gazeux 21
échangeur 354
échelle des bruits 66
éclisse 567
écran
  sous toiture 286
efficacité énergétique 14
Effinergie 57,60
effusivité 43
égout 647
enduit
  épais 439
  extérieur 253,498
  hydraulique 426
  mince 432
  sur ossature bois 447
énergie 12
  grise 112
ensoleillement 37
entrait 279,587
entrevous 542
  isolants 534
  moulés en polystyrène 533
  polystyrène 268
EP 128
épandage 591
étanchéité 612
  à l'air 29,31,61,379,474
étrésillons 281
EUCEB 121
Euroclasses 106
expanded perlite 128
exposition 37
  au vent 431

F

façade 92,349
faîtage 626,648
faux-plafond 565,569
fenêtre 222
  de toit 642,650
fermes 277,279
fermettes 278,585
feuillard métallique 415
fibragglos 152,577
fibres de verre 427
film de polyéthylène 28
fixations 420,574,644
  mécaniques 393,579
flux thermique 17,35,89
fondations 444
forme 562
  de granule 316
fourrures 235,291,565,600, 652
freine-vapeur 280
FSC 149,222
fuites d'air 30

G

gaine électrique 385
gênoise 647
géothermie 659
glass wool 120
Gossypium hirsutum 144
gouttière 647
granulés
  de verre cellulaire 529
grenier 284
GW 120

H

habitat existant 55
haute performance énergétique 59
HFC 118
Hibiscus Cannibus L. 137
hourdis 535
HPE 59
humidité 22
hydrophile 21
hygrométrie 22,29

I

IMMR 163
indice d'affaiblissement acoustique 72
inertie d'absorption 47
inertie thermique 37,42,48, 174,252,284,367
INIES 113
IPN 566
isiocyanate 118
isolants 107
  à base de bois 148
  blocs de coffrage 192
  choix 114
  d'origine animale 157
  en fibres de bois 149
  en flocons 591
  en plumes 161
  épaisseur 165
  fibreux 324
  minces multicouches réfléchissants 163
  minéraux 120
  monocouche 258
  naturels 139
  nouvelle génération 165
  par thermoréflexion 163
  rapportés 114
  réflecteurs multicouches 163
  sous bardages 462
  sous vide 170
  synthétiques 114
  thermoréflectifs 163
  végétaux 131
isolation

acoustique 65,80,302,550, 653
des planchers 308
à hautes performances énergétiques 244
avec contre-cloison 237
avec ossature 235
chape flottante 272
cloison 264
constructions à ossature bois 249
crépie sur maison bois 450
dalle sur terre-plein 524
derrière ossature métallique 395
en deux couches 290,603
en sous-face 275,565
en vrac 281
extérieure 63,82,294,615
fondations 444
hautes performances 348
intérieure 80
inversée 301
monocouche 287
monocouche sous chevrons 600
ossature métallique 241
par l'extérieur 252,546
par l'intérieur 237,372
parois verticales 231
par remplissage d'ossature 194
par soufflage 281,589
performances 230
plancher
par le dessous 274
principes 84
procédés 82
rapportée par l'intérieur 232
renforcée 61,190,508
répandue ou soufflée 588
répartie 47,82,174,243, 486
sous bardage rapporté 455
sous parquet 313
support d'enduit 426
thermique 80
thermique extérieure 425
thermo-acoustique 314
ISOLE 107
isolement acoustique 72
ITE 232,252,425,435
points singuliers 448

J

J.-A. Eriksson 176
joints 415
mince 506
réalisation 417
jonctions 89
menuiseries 410
Joseph Hebel 176

K

kenaf 137
Key-Mark 105
ki 83
KlimaHaus 63
krypton 218

L

labels 57
écologiques 110
laines 157
de bois 150
de chanvre 135
de coton 144
de lin 136
de mouton 157
de roche 124,646
pour soufflage 590
de verre 120
acoustique 655
minérales 121
lambda 15
lambourdes 312,583
lambris 297,596
lames
d'air 164
de bois 469
lavande 155
Leed 63
lève-plaques 374,569
levier à panneaux 373
liants synthétiques 133
liège 141
limiteur
d'about 540
de ponts thermiques 542
lin 136
linteau 490
Linum usitatissimum 136
lisse 279
horizontale 400
L'nT, W 75
local non chauffé 92,104, 264
loi bruit 65

M

maçonnerie roulée 245
madriers 206
maison
3 litres 63
à ossature bois 94,147,344
bois
isolation crépie 450
passive 61,62
manchon d'étanchéité 407
marquage CE 105,113
masse ressort masse 70
matelas textile non tissé 168
matériaux 21,43,112,114
à changement de phase 51, 367,651
caractéristiques physiques 25
de construction 26,113
d'isolation 79
hydrophile 21
isolation 105
nanoporeux 166
propriétés thermiques 43
MCP 51,280,367,651
menuiseries 99,222,410,441, 473,481
certifications 227
extérieures 214
performances 215
mésocarpe 139
microcapsules 51
Minergie 63

mises en œuvre 371
monomur 47,105,174,184, 186,245,323
à isolation renforcée 508
terre cuite 499
mortier
adhésif 374,378
de chanvre 134
de chaux 135
lit 502
mortier-colle 495,506
mousses phénoliques 119
mur
de refend 89,103,502
double 253,262,474
en béton 242,254
en petits éléments 256
extérieur 331
irrégulier 398
manteau 425
MW 124

N

NASA 166
Natureplus 110
normalisation 112
noue 626,648

O

occultation solaire 42
orientation 37
ossature 290,455,461,515
autoportante 397
bois 258,394,470
enduit 447
métallique 395,403,522, 565,593,599,657
appuis 399
ouate de cellulose 146
outillage 373
ouvrants 89,99

P

paille 202
de lavande 155
panneaux
composites 580
fibres de bois 150,449,618
de polystyrène 433,436
de toiture 296,628
isolants 377
isolants sous vide (PIV) 170
mous en fibres de bois 312
pour plancher rayonnant électrique 553
rapportés 577
sandwich 297,630
panne sablière 583,626
papier kraft 28
paraffine 51,129,367
pare-vapeur 28,610,624
continu 407
hygrorégulant 29,287,292, 605
parois 27
condensation 27
verticales 321,330,372
parpaings en bois 208
parquets 313
PassivHaus 61
pattes de fixation 422
PEFC 222
PEHD 362
performances 105
acoustiques 320
énergétiques 57
environnementales 113
thermiques 15
perlite 128
perméabilité 22
perméance 24
perméthrine 160
perte de charge 351
PET 168
pétrole 11
PF 119
phosphate d'ammonium 133
pièces 37
pied distanceur 316,558
pierre ponce 184
PIR 119
pisé 209
pisoir 211
PIV 170,346,556
pivots 566
plafond
filant 521
rapporté 565,570
planche
de rive 640,647
plancher 326,523,558,582
à isolation intégrée 269
ancien 315,316
bas 265,532
maison en bois 271
bois 338
haut 97,343
intermédiaire 94,336
léger 196,284,311
lourd 550
ponts thermiques 538
sur sous-sol 93,334
sur terre-plein 89,265,330
valeurs U 270
planelle 89,500,545
plaques
copolymères 652
de plancher 311
de plâtre 374,565
finitions 414
fixations 420
renforcées 316
de polycarbonate 221
de sol 315
plaquiste 373
couteau 415
plateforme bois 194
platelage 626
platoir 415
plénum 567
plume de canard 160
PMR 163
polyisocyanurate 119
polyol 118
polypropylène 362
polystyrène 172,191,510, 618
expansé 114
extrudé 116
polyuréthane 118
ponts
acoustique 521
de vapeur 28
ponts thermiques 35,63,83, 470,538,545

angles 99
intégrés 103
ponctuels 103
refends 99
pose
calée/chevillée 435
poteaux poutres 196
poutrelle 535
Promotelec 57
PSE 114,432,435
puits canadien 357,657
PUR 118
PVC 222

Q

Qualicoat 226
Qualidéco 226
Qualitel 77
Quanalod 226
Quercus suber 141

R

radier 523,528,531,532
radioactivité 123
rampant 633
rayonnement 15,163
réaction au feu 106
récupérateur de condensats 362
réflexion 163
registre by-pass 362
réglementation
acoustique 78
thermique 51,84,352
remplissage
des ossatures en bois 196
en blocs de chanvre 204
en bottes de paille 202
en terre 199
en torchis 198
renouvellement d'air 33
rénovation 57,400,557,568, 584,622
isolation sur terre-plein 526
toiture 623
résistance 24
à la diffusion de vapeur 24
thermique 17
superficielle 18
revêtement
extérieur 255,455
plastique épais 432
roche volcanique 128,184
rondins de bois empilés 205
roseaux 156
rouleau applicateur 506
RPE 432
R-symbol 111
ruban adhésif aluminium 652
rupteurs 92,444,543
de ponts thermiques 545
sous dalle 444
RW(C ; Ctr) 72

S

salle d'eau 351
sarking 294,609,615
scie
alligator 507
à ruban 497
cloche 386
sabre 514
sel d'ammonium 160
sels de bore 158
SHON 53,165
silent bloc 311,566
silicates de calcium hydratés 176
silicocalcaire 182
soleil 39
sol flottant sec 550
solives 284,572,583,585
solutions
acoustiques minces 303, 653
de rénovation 557
d'isolation 230
hautes performances 329
isophoniques 304
ITE 440
mises en œuvre 371
parois verticales 231
pour planchers anciens déformés 315
soubassements 445
soufflage 590
sous-couche
isolante 309,317
pour parquet 314
sous-toiture 478
Steven Kistler 166
stores bannes 37
surplancher 315,326,559
surtoiture 616
suspente 567
à rosace 595

T

taloche grattoir 497
technique hollandaise 483
température
dans le sol 358
de superficie 43
terre cuite 187,245,456
terre-plein 444
THC 131
thermique 14
thermo-cutter 386
thermogramme 87
thermoliaison 157
THPE 60
toiture 89,97,280,297,581, 622
étanchée 301
inclinée 97,276,341,615
liaison avec l'ITE 446
ventilation 286
toiture-terrasse 97,299,338, 481
torchis 200
transmissions 70
treillis en fibres de verre 427
treillis soudé 534
TRPF 516
truelle crantée 495
TTPC 567
turbine 351

U

U 20,56
planchers 270

V

valeurs U 56
vapeur d'eau 21,22,24,28, 108
  diffusion 24
  pont 28
  résistance à la diffusion 28
vent 431
ventilateur 355
ventilation 22,29,286,350, 366,634
  débits réglementaires 354
  mécanique 30
  mécanique contrôlée 352
  mécanique ponctuelle 351
  mécanique répartie 351
  nocturne 47
  ponctuelle 351
  toiture 286
véranda 37,40
vermiculite 129
verre cellulaire 125,527
vêtages 425
vêtures 425
vide sanitaire 93,268,444
vis de fixation 414
visseuse 374,568
vitrages 217
  doubles 217
  peu émissifs 217
  triples 219
VMC 29,352
  double flux 61,352,355
    thermodynamique 363
  simple flux 352
volets 443
voligeage 446
voliges 647

W

WC 351
window 21
W/m.K 83

X

xérogels 170
XPS 116

Z

Zaleh 63
Zero Energy Homes 63
zone sismique 505

Pour en savoir plus sur Internet :

www.CommeUnPro.com
www.editions-eyrolles.com

Dans le cadre de sa politique de développement durable,
l'imprimerie Loire Offset Titoulet a obtenu en 2007 la marque Imprim'vert.
Cet ouvrage est imprimé, pour l'intérieur, sur du Triplacolla 115g
et pour la couverture sur du Finesse gloss 135g
de la papeterie UPM Nordland Papier GmbH
certifié DIN EN ISO 14001 : 2005.

Imprimé en France.
Achevé d'imprimer en mars 2009
par Loire Offset Titoulet.

Dépôt légal : mars 2009
N° d'éditeur : 7943

LE GRAND LIVRE DE **L'ISOLATION**

Solutions thermiques, acoustiques, écologiques et hautes performances

La **performance énergétique** d'une maison dépend avant tout d'une approche cohérente : conception bioclimatique, orientation, isolation, ventilation, mise à profit de l'inertie thermique, choix des matériaux, étanchéité à l'air, perméance... Les critères essentiels au même titre que les principes thermiques et acoustiques de l'habitat sont expliqués de façon didactique. Une **isolation performante**, c'est aussi une mise en œuvre des matériaux irréprochable, posés soi-même ou par un professionnel. L'accent est mis aussi sur le **confort acoustique** au travers de solutions pratiques. Le grand livre de l'isolation offre un panorama complet, que vous souhaitiez réaliser une isolation **classique** et réglementaire, **naturelle** et **écologique** ou même adopter les nouvelles solutions **hautes performances** permettant d'atteindre une consommation quasi nulle d'énergie de chauffage (maison passive).

AU SOMMAIRE

- La thermique dans l'habitat
- La conception bioclimatique
- L'acoustique
- Les ponts thermiques
- Les isolants classiques, naturels et écologiques *(chanvre, paille, laine, bois, lin, liège...)*
- Les labels
- Les modes d'isolation *(rapportée, répartie, remplissage)*
- La construction en monomurs
- La construction en matériaux naturels *(paille, bois, pisé)*
- Les vitrages isolants
- Les solutions d'isolation pour chaque type de paroi et de toiture
- Les performances thermiques des isolants
- Les solutions hautes performances
- La ventilation (VMC)
- Le puits canadien
- Les mises en œuvre

Le grand livre de l'isolation c'est :

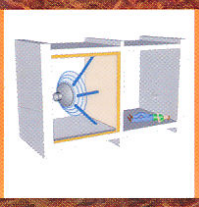
Savoir comment agir efficacement contre un logement énergivore, et économiser de l'argent

Choisir des matériaux d'isolation classiques ou naturels et écologiques

Savoir moins chauffer, moins climatiser, et œuvrer durablement pour l'environnement

Réaliser une isolation performante grâce aux planches de schémas pratiques

Découvrir les solutions innovantes et la très haute performance énergétique



Améliorer et valoriser son logement grâce aux différentes solutions d'isolation acoustique

www.editions-eyrolles.com

Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif | Distribution Sodis